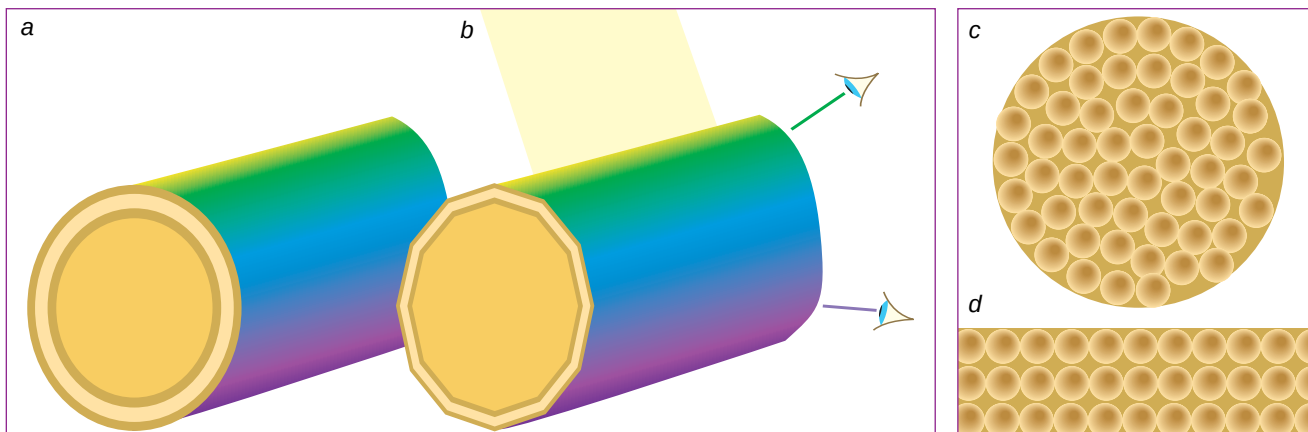




**3. LA MODÉLISATION** des brins et des fils d'un tissu permet aux physiciens de prévoir quel traitement rend des fibres iridescentes. Dans le modèle le plus simple, le brin cylindrique est assimilé à une couche plane recouverte d'un empilement de couches minces planes et parallèles, qui constituent une structure interférentielle. On montre que l'on obtient un effet d'iridescence notable avec deux à trois couches d'indices de réfraction différents (a). On améliore ensuite le modèle en simulant le brin par un cylindre dont la section est un polygone de 72 côtés

recouverts des couches minces interférentielles. Le calcul montre que l'iridescence persiste : la couleur change en fonction de l'angle d'observation (b). Les fils tissés sont composés d'environ 64 brins analogues au précédent (c) ; la modélisation est alors reprise à l'échelle du fil pour s'assurer que la superposition des effets de plusieurs brins ne brouille pas l'iridescence. Une simplification consiste à assimiler chaque couche de brins à une lame à faces parallèles séparée de la suivante par une mince couche d'air (d). Les couleurs iridescentes persistent.

teinte). Étant donné les contraintes théoriques et les contraintes industrielles, on montre qu'une seule couche mince ne suffit pas à réaliser un effet d'iridescence notable, mais que l'empilement de deux ou trois couches, faisant alterner des indices faibles et élevés, donne l'effet recherché.

### La modélisation des tissus iridescents

Ensuite, nous avons fait un calcul plus réaliste sur un brin cylindrique. Pour simplifier le calcul, la section du cylindre est assimilée à une section polygonale régulière de 72 côtés. Le calcul d'interférences des couches multiples est fait sur chacune de ces faces. Les faisceaux lumineux réfléchis par toutes les faces du brin sont ensuite sommés dans toutes les directions de réflexion (on suppose que l'éclairage du tissu est diffus et isotrope, c'est-à-dire qu'il est uniformément réparti en intensité dans toutes les directions de l'espace).

Ce calcul montre que l'effet d'iridescence persiste, même si la gamme spectrale se réduit un peu du côté des grandes longueurs d'onde et qu'elle s'étend plutôt du vert-bleu au violet. De surcroît, la pureté des teintes diminue aux incidences moyennes. En revanche, la luminosité du phénomène n'est quasiment pas modifiée par ce calcul plus conforme à la réalité.

Encore convient-il ensuite d'évaluer l'évolution du phénomène quand on passe de l'échelle du brin à celle du

fil, ce qui correspond – pour poursuivre notre analogie avec les papillons – au passage des stries aux écailles. À nouveau, on introduit des simplifications : on assimile le fil à un empilement régulier de huit couches de huit brins alignés. Ensuite, on assimile chaque couche de brins à une lame à faces parallèles, séparée de la suivante par une mince couche d'air, et l'on calcule l'intensité de tous les faisceaux lumineux réfléchis dans cet ensemble de huit couches. Cette simplification drastique sert à prévoir qualitativement le sens de l'évolution de la pureté et de la luminosité des couleurs, sachant que la gamme spectrale de l'iridescence est fixée par les propriétés du revêtement appliqué sur chaque brin. Dans cette configuration, la luminosité quadruple, mais la pureté est dégradée.

Se parera-t-on, un jour, de tissus qui ressembleraient aux ailes des papillons les plus chatoyants ? Le calcul prévoit que l'on obtiendrait un large domaine spectral d'iridescence, avec des teintes un peu « délavées », mais très lumineuses (l'intensité de la lumière réémise serait comprise entre 20 et 70 pour cent de celle de la lumière incidente). C'est bien ce que l'on observe sur les papillons quand on effectue des mesures optiques à l'échelle de l'aile, assemblage d'écailles. La dégradation de la pureté de la couleur quand on passe d'un brin cylindrique à une fibre, puis au tissu, serait comparable à celle que l'on obtient sur l'aile de papillon quand on passe de la strie à l'écaille, puis à l'aile.

La réalisation de fibres textiles iridescentes passe donc par le dépôt de deux ou trois couches minces interférentielles de matériaux adaptés sur les brins composant les fils. La souplesse de la technique interférentielle fournit diverses gammes de couleurs du vert au violet ou de l'orange au vert. L'obtention, par la technique interférentielle, d'une gamme d'iridescence dans le rouge semble plus difficile, et les papillons eux-mêmes ne présentent pas d'effets d'iridescence dans le rouge. Doit-on chercher à faire mieux que la nature ? Ce n'est peut-être pas nécessaire, puisque la sensibilité de l'œil humain dans le domaine spectral du rouge est inférieure à sa sensibilité aux couleurs du reste du spectre.

Serge BERTHIER est professeur de physique à l'Université Paris 7-Denis Diderot. Il mène ses recherches avec Jacques LAFAIT, directeur de recherches au CNRS, dans le Laboratoire d'optique des solides de l'Université Paris 6-Pierre et Marie Curie.

M. MAY et A.-M. CAZABAT, *Optique*, éditions Dunod, 1996.

R. SEVE, *Physique de la couleur*, éditions Masson, 1996.

P. CALLET, *Couleur-lumière, Couleur-matière*, éditions Diderot Multimedia, 1998.

S. BERTHIER, *La couleur des papillons*, éditions Springer France, 1999.

# Halte aux taches

KENNETH WONG • DANIEL JOUBERT

*Les détachants modernes foisonnent d'astuces physico-chimiques conçues pour ôter les taches des tissus. Ces additifs antisalissures sont aujourd'hui dans la plupart des lessives modernes.*

Dans un sketch célèbre, l'humoriste Coluche conspuait les slogans publicitaires qui stipulaient que leur lessive lave «plus blanc que blanc». Peut-on laver de mieux en mieux? Bien évidemment oui. La lessive est devenu un produit de consommation courante, et les additifs, c'est-à-dire les matières actives qui aident à enlever les salissures, sont loin d'être des produits banals. Au contraire, ces produits résultent de recherches de haute technicité. Leur présence dans les lessives des grandes marques les expose à l'appréciation d'un public sévère et à la concurrence féroce entre fabricants.

Les habitudes culturelles, aussi bien que les conditions physico-chimiques du lavage, imposent des contraintes draconiennes sur la performance, sur l'efficacité et sur le coût de ces molécules. L'évolution darwinienne des détachants se place dans un contexte technico-publicitaire dont les enjeux sont colossaux, les critères sévères et le progrès permanent.

Les lessives contiennent aujourd'hui quantité de composants, des agents de nettoyage aux rôles spécifiques. De l'agent blanchissant à l'agent antiredéposition, la liste est longue, mais dans tous les cas le rôle primordial est tenu par les molécules tensioactives. Formées d'une extrémité qui «aime» l'eau (tête hydrophile), tandis que l'autre (chaîne hydrophobe) ne l'«aime» pas, ces molécules se placent préférentiellement à l'interface entre l'eau et l'huile, ce qui permet d'isoler les salissures de graisse, puis de les éliminer. C'est le mécanisme fondamental du lavage.

Lorsque la lessive de base est élaborée, le chimiste y introduit des addi-

tifs antisalissures, en quantité relativement faible (un ou deux pour cent), mais dont le rôle est prépondérant. Ces additifs ne dissolvent pas les taches, mais confèrent aux textiles une meilleure résistance au tachage. C'est en analysant les mécanismes physico-chimiques qui interviennent pour protéger les tissus que les chimistes élaborent ces traitements.

## Du savon à la lessive

Le premier produit de nettoyage a été découvert par hasard. Sur les flancs du mont Sapo, près des rives du Tibre, les graisses des animaux sacrificiels fondaient dans les cendres du feu et coulaient avec les pluies dans les terres argileuses qui longeaient le fleuve. Les lavandières remarquèrent que le lavage du linge à l'aide de ce mélange de graisses, de cendres et d'argile était facilité. Sapo a donné *soap*, qui, en anglais, signifie «savon».

Dans un pot d'argile babylonien datant de 2 800 ans avant notre ère, on a retrouvé un matériau semblable au savon, avec des indications pour le préparer par chauffage de graisse et de cendre. La présence de savon est également attestée sur un papyrus égyptien de 1 500 avant notre ère. La préparation du savon y est décrite ainsi que son utilisation pour le traitement des maladies de la peau et pour le lavage. Au II<sup>e</sup> siècle, le médecin grec Galien reprend les mêmes prescriptions.

Si le procédé de fabrication et les matières premières sont aujourd'hui plus efficaces, la recette de base est inchangée depuis l'Antiquité. Le savon

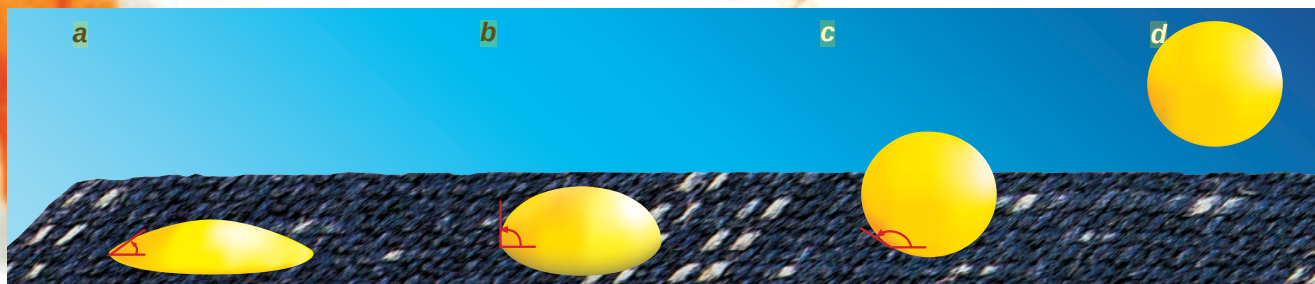
est toujours fabriqué à partir de graisses animales ou d'huiles végétales. Les chaînes d'acide gras de ces corps ne sont pas solubles dans l'eau, mais, par réaction avec une base, comme la soude (NaOH) ou la potasse (KOH), elles se transforment en des molécules tensioactives qui comportent une queue hydrophobe et une tête hydrophile.

Produit de luxe, le savon est très tôt le fruit de rivalités entre fournisseurs. Dès le VII<sup>e</sup> siècle, les recettes de la fabrication du savon sont aux mains de guildes qui conservent jalousement leur secret. Parallèlement, d'autres applications que le lavage corporel apparaissent : savon pour le linge, shampoing, savon à barbe, etc.

Un progrès technique de fabrication ouvre la voie à la démocratisation du lavage du linge. On utilise alors la cendre de bois comme «base», sans savoir qu'elle contient en faible quantité une «vraie» base, le carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Comment purifier cette base? En 1771, le chimiste français Nicolas Leblanc invente une méthode de fabrication de carbonate de sodium à partir des cendres et du sel ordinaire. Grâce à sa méthode, on obtient une base forte, de bonne qualité et bon marché. La production industrielle du savon peut commencer. Les méthodes sont progressivement améliorées et, en 1823, le chimiste français Eugène Chevreul établit sur des fondements solides la chimie des corps gras.

Jusqu'au XX<sup>e</sup> siècle, le savon à base de matière grasse naturelle (animale





**1. LE DÉTACHAGE DES SALETÉS HUILEUSES** se fait par un mécanisme de démouillage. La salissure est initialement une goutte d'huile étalée sur le tissu (a). La présence de molécules tensioactives dans le bain de lessive et d'autres facteurs, comme

l'agitation mécanique, déclenchent le démouillage (b) : l'angle de contact entre l'huile et la surface, initialement faible, augmente (b, c). Lorsque l'angle dépasse une valeur limite, la goutte est arrachée par l'agitation mécanique (d).

ou végétale) reste l'unique produit de lavage. Toutefois, la nécessité est mère de l'invention et la carence de matières grasses et d'huiles végétales durant les guerres mondiales suscite la synthèse des premiers savons synthétiques. Ces produits, issus des alcanes, des hydrocarbures de l'industrie du pétrole, et des acides forts, comme l'acide sulfurique, sont les «détergents» synthétiques. Comme celles du savon naturel, les molécules de détergent sont tensioactives. Toutefois, alors que les molécules de savon ont une tête carboxylique ( $\text{COO}^-$ ), les molécules des détergents ont une tête de sulfonate ( $\text{SO}_3^-$ ), toutes deux chargées négativement.

La différence n'est pas mince : les têtes carboxyliques précipitent plus facilement avec les cations (ions positifs) de calcium et de magnésium contenus dans l'eau que les têtes sulfonate. Ainsi, lorsque l'eau est très «dure», c'est-à-dire qu'elle contient beaucoup de ces cations, les molécules tensioactives de savon précipitent plus et sont moins disponibles pour le lavage : le savon est moins efficace que le détergent synthétique. Toutefois, en 1946, apparaissent les agents anticalcaires (*builders*, en anglais), des molécules qui piègent les cations de l'eau et rendent savon et détergents beaucoup plus efficaces.

La marque de lessive *Persil*, d'origine allemande, est l'une des plus anciennes. Son nom résulte de la contraction de *perborate* et *silicate*, deux adjuvants que l'on ajouta aux molécules tensioactives pour fabriquer l'une des premières lessives modernes. À l'issue de la

Seconde Guerre mondiale, cette marque constitua une prise de guerre des Alliés sur l'Allemagne, de sorte qu'on la retrouve aujourd'hui comme nom de marque, aussi bien chez la Société anglo-hollandaise *Lever* que chez la Société allemande *Henkel*.

### Molécules tensioactives et agents antiredéposition

La lessive moderne contient de multiples espèces chimiques actives. Les proportions des différents composants varient selon la région du monde à laquelle est destinée la lessive, mais les principaux agents lavants restent les molécules tensioactives de détergent et les agents anticalcaires.

En Europe, les agents anticalcaires constituent la moitié de la lessive. Ces molécules sont basiques, de sorte que l'eau de lavage est à un pH voisin de 10 (le pH est compris entre 0 et 14, et un pH de 7 représente un milieu neutre). Or, la surface des salissures et celle du linge comportent des groupements  $-\text{OH}$ , qui, en milieu basique, sont ionisés en  $-\text{O}^-$ , caractéristiques d'un milieu basique. Ainsi, toutes les surfaces sont chargées négativement et, comme deux charges de même signe se repoussent, les salissures, une fois enlevées, restent en suspension dans le bain de lessive, éloignées les unes des autres. Cette répulsion électrostatique facilite aussi la séparation des taches du tissu.

Nous avons vu que les molécules tensioactives se placent aux inter-

faces. Ainsi, elles réduisent la tension de l'interface entre l'eau et l'huile, l'énergie nécessaire à la formation d'une nouvelle surface entre ces deux liquides. La compatibilité de l'huile et de l'eau en présence de telles molécules est facilitée, c'est l'émulsification. L'émulsification est un phénomène clé qui fragmente les salissures huileuses sous forme de gouttelettes (émulsification) et les maintient en suspension dans l'eau (dispersion).

De la même façon, les molécules tensioactives se placent à l'interface entre l'eau et l'air, et elles réduisent la tension de surface : l'air s'incorpore alors plus facilement à l'eau, d'où l'apparition de mousse. L'utilisateur croit souvent qu'une mousse abondante témoigne de l'efficacité de la formule détergente. Cette croyance est erronée et trop de mousse peut nuire : par exemple, un excès de mousse amortit la force du jet d'eau qui arrive sur les assiettes dans un lave-vaisselle et réduit l'efficacité du lavage.

Les molécules tensioactives se différencient par leur charge électrique : soit elles sont chargées (ioniques), soit elles ne sont pas chargées (non ioniques). Les molécules tensioactives ioniques les plus utilisées sont les alkyls benzène sulfonate (avec des têtes  $\text{SO}_3^-$ ). Leur charge est négative, et on les qualifie d'anioniques. Les molécules non ioniques ne portent pas de charge : leur tête polaire se compose le plus souvent d'une chaîne oxyéthylénée (répétition du monomère  $\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{O}$ ).

Les enzymes, autre composant important des lessives, sont des protéines, c'est-à-dire des chaînes