

l'agent cicatrisant après la mise en place du réseau, et cela se fait en général par l'application d'un vide. Par conséquent, le choix des agents cicatrisants doit prendre en compte des propriétés telles que la mouillabilité des surfaces, la viscosité des liquides et la réactivité chimique. Ainsi, lorsqu'un agent est trop visqueux ou n'est pas assez mouillant, le remplissage du réseau de capillaires, le transport de l'agent et sa libération au niveau des sites endommagés sont compromis.

La technique la plus simple pour assembler un réseau vasculaire est sans doute d'utiliser des fibres de verre creuses. Ces fibres sont aujourd'hui faciles à fabriquer, elles sont compatibles avec les polymères usuels, et le verre ne réagit pas avec de nombreux agents cicatrisants appréciés, telles les résines époxy à deux composants. De plus, on peut entrelacer ces fibres creuses avec les renforts en fibre de verre et de carbone utilisés dans les composites, leur taille et forme étant similaires. Les premiers systèmes expérimentaux mettaient en œuvre des fibres d'environ un millimètre de diamètre, mais des fibres de 15 micromètres de diamètre sont maintenant disponibles.

Cependant, l'un des gros inconvénients des fibres de verre creuses est qu'elles n'autorisent que des connexions unidimensionnelles. Une plus grande connectivité, dans des réseaux de canaux à deux ou trois dimensions, confère de nombreux avantages. Dans un tel réseau, chaque point a des connexions multiples, si bien que le système est plus fiable en cas d'obstruction, et qu'il dispose

d'un accès à un plus grand réservoir d'agents cicatrisants. Ainsi, non seulement le système est capable de réparer des zones endommagées plus importantes, mais il peut aussi être rechargé plus facilement pour une utilisation répétée.

## Un tissu de fibres que l'on fait disparaître

Dans la technique de l'« écriture directe », la plus répandue pour construire des réseaux vasculaires à deux ou trois dimensions, on monte d'abord un échafaudage à l'intérieur d'un moule, qu'on remplit ensuite avec un liquide précurseur de polymère. Une fois le polymère solidifié, l'échafaudage est dissous chimiquement, ce qui laisse dans le polymère un réseau de tubes creux. Cette approche offre un bon contrôle de la forme du réseau ; mais le choix de matériaux pour la matrice est limité, car ils doivent être physiquement et chimiquement compatibles avec l'échafaudage.

Notre équipe a développé une méthode plus souple, qui consiste à sacrifier des fibres : on les entrelace dans un matériau composite, puis on les évapore à des températures de 200 à 240 °C. Ces fibres gardent leur structure jusqu'à 180 °C et peuvent donc être mélangées à des fibres classiques. Au préalable, par un procédé de tissage, on crée une préforme tissée en trois dimensions, dans laquelle on fait pénétrer par infiltration la matrice de polymère, et que l'on chauffe. Les croisements de fibres « sacrificielles » correspondent alors, dans le

## LES AUTEURS

Scott WHITE est professeur de génie aérospatial à l'Université de l'Illinois, aux États-Unis. Jeffrey MOORE y est professeur de chimie et Nancy SOTTOS professeur de science des matériaux. Benjamin BLAISZIK, Charlotte KRAMER et Solar OLUGBEFOLA y sont chercheurs postdoctorants.

Article publié avec l'aimable autorisation de *American Scientist*.

## ✓ BIBLIOGRAPHIE

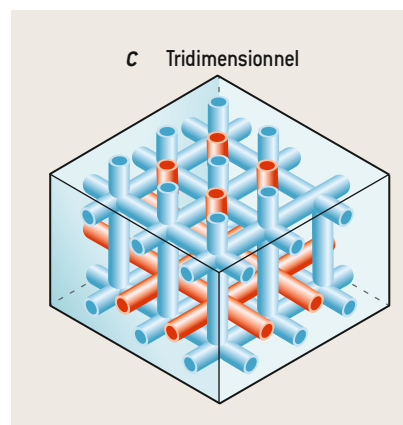
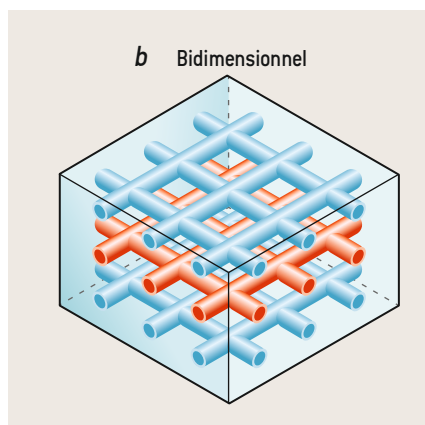
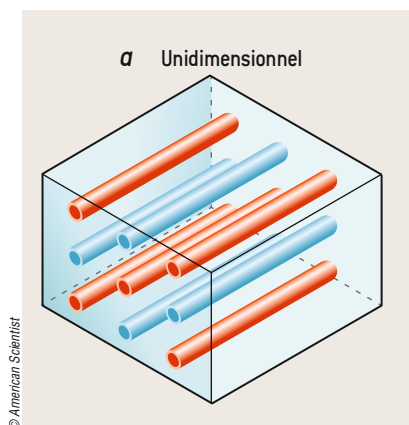
B. J. Blaiszik et al., Autonomic regeneration of electrical conductivity, *Advanced Materials*, vol. 24[3], pp. 398-401, 2012.

B. J. Blaiszik et al., Self-healing polymers and composites, *Annual Review of Material Research*, vol. 40, pp. 179-211, 2010.

C. J. Hansen et al., Self-healing materials with interpenetrating microvascular networks, *Advanced Materials*, vol. 21[41], pp. 4143-4147, 2009.

P. Cordier et al., Self-healing and thermoreversible rubber from supramolecular assembly, *Nature*, vol. 451, pp. 977-980, 2008.

R. P. Wool, Self-healing materials: A review, *Soft Matter*, vol. 4[3], pp. 400-418, 2008.



**4. LES RÉSEAUX VASCULAIRES AUTOCICATRISANTS** contiennent les agents cicatrisants (en bleu) et les catalyseurs (en rouge) dans des capillaires séparés. Les réseaux unidimensionnels (a) peuvent être constitués de fibres de verre creuses. Les réseaux bidimensionnels (b) et

tridimensionnels (c) peuvent être fabriqués en moulant le matériau d'un échafaudage que l'on dissout ensuite chimiquement, ou en mêlant des fibres dites sacrificielles à des fibres classiques pour matériaux composites, les fibres sacrificielles étant ensuite évaporées par chauffage.