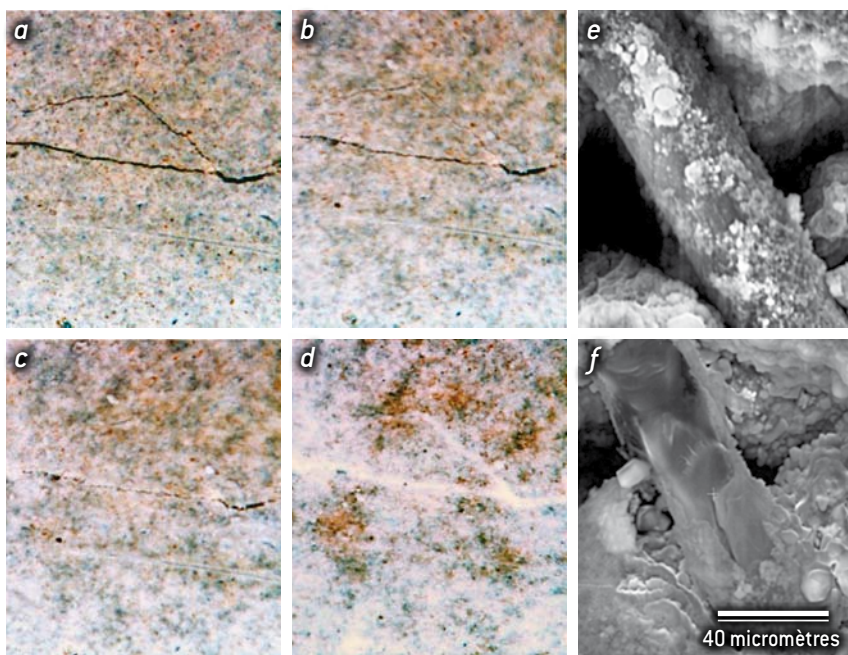




6. LE BÉTON FLEXIBLE ECC EST CAPABLE DE S'AUTORÉPARER, comme l'indiquent les photographies *a* à *d*, qui montrent l'évolution d'une fissure au cours du temps. Les photographies au microscope *(e, f)* présentent les bords de la fissure et la fibre juste après la fissuration *(e)* et après 36 heures d'immersion dans l'eau *(f)* : divers composés solides se sont formés et ont comblé la fissure.

La résistance et la densité des fibres déterminent la force maximale au-delà de laquelle une microfissure dégèrera en fracture du matériau. La dispersion des fibres dans le composite étant imparfaite, leur densité varie légèrement. Finalement, l'ECC se brise lorsque la force limite d'une des microfissures est dépassée.

Les interactions fibres-microfissures sont complexes, en particulier lorsque les fibres traversent les fissures selon un angle incliné – ce qui se produit la plupart du temps, car elles sont orientées aléatoirement dans la matrice de ciment hydraté. Pour obtenir les propriétés mécaniques souhaitées, chaque fibre doit se décoller de la matrice et y glisser lors de l'ouverture d'une fissure. Si les fibres ne glissent pas, elles se cassent au lieu de jeter un pont à travers la fissure. Inversement, si elles glissent trop, elles ne s'opposent plus à l'ouverture de la fissure, qui risque de se transformer en rupture macroscopique.

On étudie le décollement et le glissement des fibres en tirant sur l'une d'elles jusqu'à ce qu'elle sorte entièrement du composite. La force requise doit d'abord surmonter l'adhérence entre la fibre et la matrice pour que le glissement commence. La fibre d'alcool polyvinylique, fréquem-

ment utilisée, a une surface hydrophile (attirant l'eau), qui adhère à la matrice, en se liant à des hydroxydes métalliques (contrairement à la plupart des polymères, qui sont hydrophobes et glissent facilement dans la matrice). L'adhérence est même trop intense, de sorte que les fibres d'alcool

LE BÉTON FLEXIBLE ECC
pourrait contribuer à des infrastructures
« intelligentes », capables de s'autoréparer et
de détecter leurs propres dégâts.

polyvinylique pur se rompent souvent lorsqu'on tire dessus. C'est pourquoi nous avons fabriqué un mince revêtement de matériau hydrophobe, que nous avons étalé sur les fibres. Épais de 10 à 100 nanomètres, il affaiblit l'adhérence de la fibre au ciment.

Le glissement enclenché, il ne doit pas durer indéfiniment. Dans l'ECC, il est de moins en moins facile à mesurer qu'il progresse : les fibres sont conçues pour s'abriter en traversant le tunnel rugueux de la matrice (elles sont en quelque sorte pelées par le glissement), de sorte qu'elles tendent à « s'accrocher » à ce tunnel (voir la figure 4). Ainsi, la force nécessaire pour retirer la fibre augmente, ce qui explique

la stabilisation de la largeur de la fissure et le mode plat de propagation.

L'ECC a récemment été utilisé au sein de plusieurs infrastructures, tels des bâtiments, des ponts, des routes et des canaux d'irrigation. Au Japon, plusieurs grands immeubles contiennent des poutres de ce matériau, qui les rend plus résistants aux tremblements de terre grâce à sa bonne ductilité en traction. C'est le cas de la tour résidentielle *Nabeaura Yokohama* de 41 étages, achevée en 2007 et localisée à Tokyo, ville qui a bien résisté au tremblement de terre de 2011. À chaque étage, quatre poutres d'ECC relient les coins des murs intérieurs (voir la figure 5). Durant un tremblement de terre, elles sont soumises à une combinaison de forces longitudinales (de traction) et diagonales. Elles se déforment alors en développant des séries de microfissures, ce qui dissipe l'énergie communiquée au bâtiment par le séisme et limite les forces s'exerçant sur le reste de la structure.

Un matériau déjà en cours d'exploitation

L'ECC remplace aussi avantageusement le béton sur les ponts routiers, car la faible largeur des microfissures minimise les effets des variations de température, de la pénétration de chlorure (lors du salage des routes) et de la rouille formée sur les barres de renfort en acier, ainsi que les dégâts causés par l'usure. Quand la température varie, les poutres en acier se dilatent et se rétractent, mettant à rude épreuve le béton qui les surmonte.

Sur un pont du Michigan, au Nord-Est des États-Unis, on a ainsi installé une dalle en ECC pour jouer le rôle de joint de dilatation : elle s'étire quand le pont se dilate, puis se contracte en fermant les microfissures quand le pont reprend sa taille d'origine. Elle est bien plus efficace qu'une dalle en béton classique, qui se fissure plus profondément, laissant pénétrer l'eau salée, et se détériore plus vite, d'où la nécessité d'entretiens fréquents. Installée en 2005, la dalle d'ECC n'a pas nécessité de réparation jusqu'ici.

L'ECC pourrait contribuer à des infrastructures « intelligentes », capables notamment de s'autoréparer, ainsi que de détecter leurs propres dégâts et de les signaler à des stations à distance. Un échantillon d'ECC endommagé a été successivement mouillé et séché plusieurs fois en laboratoire : ses