

Des nanoparticules entravent la déchirure de « tissus » mous

Une fracture concentre les contraintes par effet de pointe. Une fois initiée, elle progresse inexorablement tant qu'elle n'a pas épuisé son énergie disponible. Une fêlure dans un pare-brise est un exemple de fracture qu'on peine à stopper et qu'un environnement humide favorise. Les hydrogels de bio-polymères ont des propriétés physico-chimiques proches de celles de tissus vivants et sont largement utilisés pour leurs applications bio-médicales (patches, substrats pour la régénération tissulaire...). L'environnement physiologique contient de nombreuses nano-particules en suspension (protéines, cellules, colloïdes inorganiques d'origine extrinsèque). Une équipe de l'INSPI a montré que des nano-particules de silice pouvaient interagir très efficacement avec une fracture de façon à en stopper la progression au sein d'un gel.

Un gel de gélatine est constitué d'un réseau élastique de macromolécules qui s'assemblent à l'échelle d'une dizaine de nm pour former des triple-hélices, souvenir de leur collagène natif. Ce réseau est imprégné d'eau, vecteur d'échange avec l'environnement. Une fracture se propage par débobinage des hélices et extraction des chaînes polymères. Le défaut d'hydratation des chaînes extraites à l'air libre se paye énergétiquement par un ralentissement de la fracture. En environnement liquide, les chaînes sont réhydratées et la fracture accélère. Nous avons observé que des nanoparticules de silice en suspension ralentissaient la fracture et pouvaient même la stopper net. Comment ?

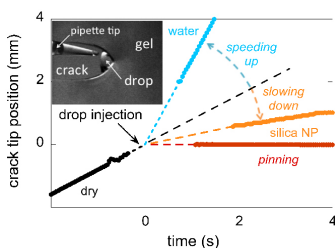


Figure 1

La vitesse de croissance d'une fracture dans un hydrogel dépend fortement de son environnement. L'eau pure l'accélère mais en présence de nanoparticules (NP) elle est fortement ralentie, voire stoppée net si leur concentration est assez importante.

Des collègues de l'ESPCI-ParisTech avaient montré que les nanoparticules de silice permettaient de coller (suturer) deux morceaux de gel ou de tissu (foie) grâce à leur grande surface spécifique promouvant l'adhésion. La curiosité a conduit une équipe de l'INSPI à introduire ces particules dans une fracture et à découvrir un phénomène inattendu. En jouant sur les charges électriques respectives portées par le réseau de protéines et les particules et en faisant varier leur taille et leur concentration, ils ont identifié deux mécanismes originaux :

1. Indépendamment des charges, les particules sont filtrées par le réseau qu'elles « encrassent », réduisant ainsi l'hydratation ce qui conduit au ralentissement de la fracture.
2. Lorsque les charges sont opposées, les particules adhèrent fortement aux chaînes débobinées et restaurent de la cohésion. Là encore, la croissance de la fracture est entravée.

Pourquoi ces mécanismes sont-ils si efficaces ? En tête de fracture règne une forte dépression qui aspire l'eau et entraîne les particules. Si leur diamètre est un peu plus grand que la taille caractéristique du réseau (le cas dans notre étude), elles sont filtrées et maintenues par la dépression, quel que soit le degré d'adhésion. Ainsi, si un crack naît en surface, il va automatiquement aspirer les particules qui vont le guérir. Un gel serait ainsi naturellement protégé de la rupture par son environnement colloïdal...

Cette étude est un bel exemple de mécanisme multi-échelles : le pompage de particules nanométriques, focalisé à l'échelle micrométrique en tête de fracture, permet de stabiliser une fracture centimétrique. Les implications bio-mécaniques pour la fracture des tissus mous riches en collagène (peau, membrane amniotique, cordes vocales, parois artérielles, tendons...) restent à explorer.

Référence

« Environmental Nanoparticle-Induced Toughening and Pinning of a Growing Crack in a Biopolymer Hydrogel »

O. Ronsin, I. Naassaoui, A. Marcellan, and **T. Baumberger**

Physical Review Letters, 123, 158002 (2019)

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.123.158002>

Contact

Olivier Ronsin - olivier.ronsin@insp.jussieu.fr