



# Institut de physique

Actualités scientifiques

## Des polymères à la queue-leu-leu pour former des gels injectables

Mai 2017

Biocompatibles, les hydrogels polymériques présentent un grand intérêt dans le domaine biomédical, où ils sont de plus en plus utilisés pour la délivrance contrôlée de substances actives. L'injection est la technique d'implantation la moins invasive, mais requiert des gels capables de passer de l'état solide à liquide en fonction des paramètres appliqués. Une collaboration lyonnaise entre des chimistes et des physiciens a développé et étudié de tels gels formés à base de courtes chaînes de polymère, capables de répondre à ces enjeux.

Du fait de leur forte ressemblance avec les tissus vivants, les hydrogels présentent un grand intérêt pour le domaine médical. Ils sont notamment utilisés pour la délivrance contrôlée de substances actives ou comme matrices résorbables pour la croissance cellulaire et la régénérescence tissulaire. S'ils sont majoritairement constitués d'eau, ils se présentent généralement à l'état solide (pansement, lentilles de contact...). Pour être utilisés pour régénérer des tissus internes, il est nécessaire de les implanter lors d'une intervention chirurgicale, ce qui complique leur utilisation. Idéalement, on souhaiterait pouvoir disposer d'un gel pouvant être tantôt sous forme solide et tantôt sous forme fluide selon les contraintes qu'on lui impose. Ainsi, dans le cadre de l'injection, le gel serait solide dans la seringue, puis fluide au moment du passage dans l'aiguille puis redeviendrait solide dans le corps. Ce comportement de fluide à seuil offre une opportunité d'applications très importante. Dans ce cadre, le contrôle des propriétés du gel, en particulier la maîtrise de son seuil d'écoulement, est un paramètre d'une importance considérable. C'est ce qu'a réalisé une collaboration lyonnaise entre des chimistes du Laboratoire de chimie de l'ENS Lyon (CNRS/ENS Lyon/Univ. Lyon 1) et des physiciens du Laboratoire

de physique de l'ENS Lyon (CNRS/ENS Lyon/Univ. Lyon 1) et de l'Institut Lumière Matière (ILM, CNRS/Univ. Lyon 1) en développant et modélisant de tels gels polymériques. Ils ont synthétisé de courts polymères constitués de charges positives tout au long de la chaîne se terminant à une extrémité par une tête négative. Ils ont montré que ces chaînes s'auto-assemblent à la queue-leu-leu, à la manière des chenilles processionnaires, pour former un fluide à seuil facilement injectable. Enfin, ils ont réalisé un modèle théorique montrant que les propriétés mécaniques de l'hydrogel peuvent varier d'un facteur 1000 suivant la nature de l'ion de la chaîne et de celui de la tête ; ils ont ainsi pu prédire le comportement d'un tel gel *in vivo*. Ces travaux sont publiés dans *Soft Matter*.

En solution aqueuse, chaque chaîne est formée d'une répétition d'unités cationiques, et d'une extrémité anionique, un peu comme une chenille dont les segments sont tous identiques à l'exception de la tête. En partant d'une structure de polymère unique dont ils ont systématiquement fait varier la nature de la paire d'ions/contre-ion répétée le long du corps, les chimistes sont parvenus à moduler les propriétés rhéologiques du gel résultant sur plus de trois ordres de grandeur. Pour comprendre ces variations conséquentes, les physiciens ont dû modéliser l'auto-organisation des polymères dans l'eau. Les têtes chargées négativement s'associent aux corps chargés positivement, formant ainsi ces files processionnaires, dont les variations de longueur, de 1 à 800 chaînes, expliquent les variations de propriétés du matériau. Un modèle basé sur la théorie des polyélectrolytes permet d'extraire de procédures standards de rhéologie les paramètres microscopiques clés du système, comme le degré de condensation des contre ions, l'énergie d'interaction électrostatique inter-chaînes. Ce modèle permet également d'anticiper les propriétés mécaniques des gels en conditions physiologiques, et apporte ainsi une aide précieuse dans la conception de futurs matériaux à propriétés optimisées pour ces applications.

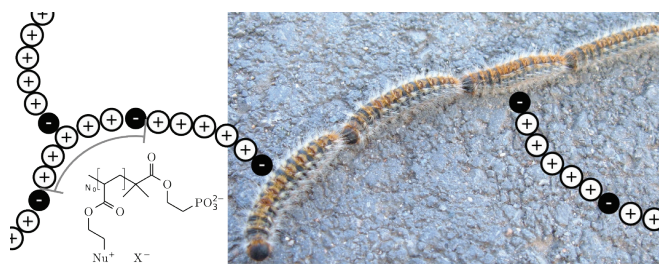


Schéma de l'auto-organisation en processions réticulées, par analogie avec les chenilles processionnaires du pin. Dérivé d'une image d'Arturo Reina, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=282898>.

### En savoir plus

[Ion pairing controls rheological properties of "processionary" polyelectrolyte hydrogels](#)

H. Srour, M. Duvall Ayagou, T. Thanh-Tam Nguyen, N. Taberlet, S. Manneville, C. Andraud, C. Monneré et M. Leocmach

*Soft Matter* (2016), doi:10.1039/C6SM02022D

### Contact chercheur

**Mathieu Leocmach**, chargé de recherche CNRS

### Informations complémentaires

Laboratoire de physique de l'ENS Lyon (CNRS/ENS Lyon/Univ. Lyon 1)

Laboratoire de chimie de l'ENS Lyon (LCH, CNRS/ENS Lyon/Univ. Lyon 1)

Institut Lumière Matière (ILM, CNRS/Univ. Lyon 1)



### Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie  
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16  
T 01 44 96 42 53  
inp.com@cnrs.fr  
www.cnrs.fr/inp