

ESPCI  PARIS | PSL 

SCIENCES ET INGÉNIERIE DE LA MATIÈRE MOLLE [SIMM]

3

QUESTIONS À

— ÉTIENNE BARTHEL —
Directeur du SIMM



Quelle est la spécificité du laboratoire ?

Le SIMM est le descendant du laboratoire d'étude des polymères. L'héritage de Pierre-Gilles de Gennes et d'autres chercheurs a transformé l'approche de cette science et l'a étendue à une perspective plus vaste, celle de l'étude de la "matière molle". L'idée est de se focaliser sur les échelles mésoscopiques, au-delà de l'atome, mais en-deçà de l'objet. C'est là que se trouve l'origine de nombreuses propriétés physiques ou mécaniques : mouillage, adhésion, fracture... et il s'agit d'une échelle souvent difficile à théoriser.



Qu'est-ce que la matière molle ?

Par définition, il s'agit de matériaux très déformables, ce qui a des conséquences, notamment un grand rôle des mécanismes dissipatifs et de la surface, qui peut s'accroître ou se réduire facilement... Nous construisons des matériaux en jouant sur des interactions faibles, quelque part entre le liquide et le solide. Par ailleurs, ces systèmes ont une très grande hétérogénéité en terme de structure, ce qui nous permet, en variant cette dernière, d'impacter les propriétés physiques.



Sur quelles thématiques travaillez-vous ?

Une partie des chercheurs s'intéresse à la déformation des solides mous, une autre se penche sur les subtilités des interfaces de liquides complexes. Et un troisième axe concerne les assemblages fonctionnels, dont l'objectif est de construire ces "solides mous" par assemblage de structures de tailles supérieures à l'atome. On peut par exemple aller au-delà des réseaux polymères en combinant plusieurs réseaux, ce qui donne des systèmes à la fois très extensibles et très résistants mécaniquement. Cet assemblage architecturé combine des propriétés qu'on n'obtiendrait pas avec un assemblage classique.



35 publications
par an

21 chercheurs et
enseignants-chercheurs

49 thésards
et post-docs

12 partenaires industriels

LES ÉTONNANTES PROPRIÉTÉS DES HYDROGELS

DES SOLIDES ÉLASTIQUES... COMPOSÉS D'EAU !

Parmi les centres d'intérêts du SIMM se trouvent les hydrogels. Principalement constitués d'eau (souvent environ 90 %), ces matériaux se comportent pourtant comme des solides élastiques. De faibles quantités de polymères suffisent à donner un caractère solide au matériau en s'organisant sous la forme d'un réseau tridimensionnel, avec des tailles de mailles de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres. Les équipes étudient de nouveaux designs macromoléculaires et développent des stratégies de renforcement mécanique originales pour concevoir des gels robustes mécaniquement, notamment capables de résister à la rupture.

LIAISONS SACRIFICIELLES RÉVERSIBLES

Pour prévenir la fracture, il a d'abord été tenté de concevoir des réseaux parfaitement contrôlés, en homogénéisant la taille des mailles et en calibrant la distance entre les nœuds pour éliminer toute imperfection. Mais la chasse aux défauts ou la réalisation d'un réseau "parfait" s'est avérée difficile et, en définitive, peu efficace. C'est finalement en envisageant le problème dans une toute autre philosophie

POUR EN SAVOIR PLUS

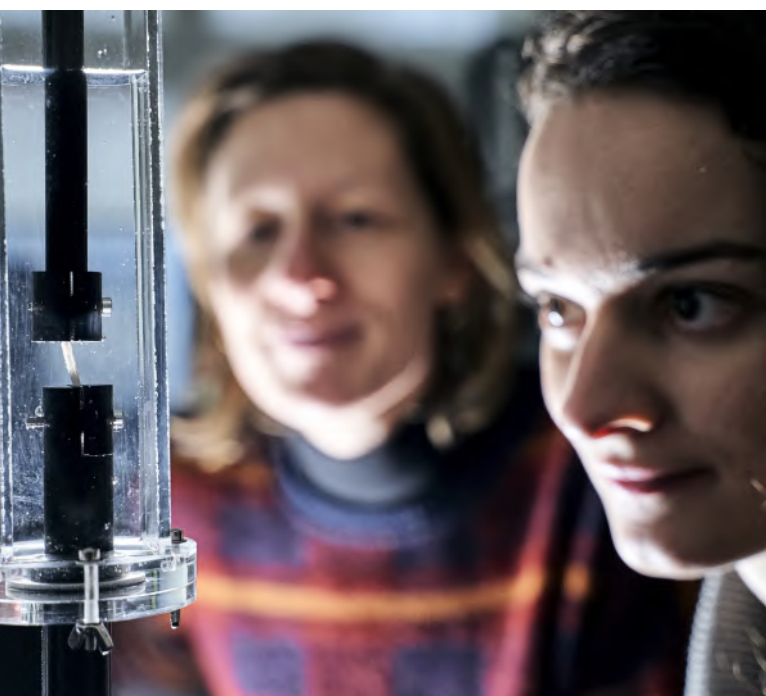
Hydrogels with Dual Thermo-responsive Mechanical Performance, H. Guo, C. Mussault, A. Marcellan, D. Hourdet, N. Sanson, Macromolecular Rapid Communications, 38 (17), pp. 1700287, 2017.

que le laboratoire a mis à profit les hétérogénéités. L'idée est d'introduire délibérément dans le réseau des liaisons faibles, dites "sacrificielles", qui vont se rompre progressivement et de manière répartie dans le matériau. Contrairement aux liaisons chimiques conventionnelles, ces liaisons de faible intensité ont la capacité de se reformer. Avec ces "défauts", le réseau peut alors se réorganiser. Les gels obtenus révèlent des propriétés remarquables en termes de rigidité et de résistance à la rupture, pouvant même s'autoréparer.

DES "FUSIBLES" EN HYDROGEL

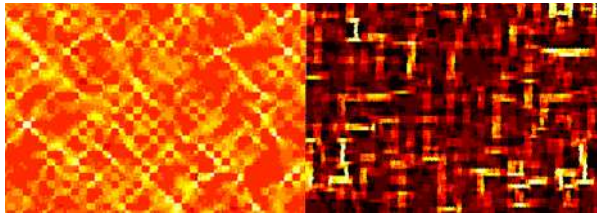
Les équipes du SIMM ont élaboré des hydrogels constitués de chaînes polymères qui, sous l'effet d'une augmentation de température, s'associent pour former des domaines denses à l'intérieur du réseau. Des informations thermodynamiques, structurales et mécaniques ont montré que c'était ces domaines qui provoquaient le renforcement des hydrogels à haute température. En d'autres termes, ils jouent le rôle de "fusibles" et permettent de conserver l'intégrité du matériau. Mais contrairement aux systèmes électriques, qui ne servent qu'une fois, ces fusibles peuvent se reformer en effectuant un cycle de température ou en relâchant la contrainte mécanique.

La formation de ces domaines denses par élévation de la température est liée au processus général de séparation de phase des polymères. Ainsi, les chercheurs ont pu montrer que ce concept pouvait être généralisé à d'autres polymères thermosensibles et même être utilisé pour générer des renforcements thermostimulés multiples, à la fois lors du chauffage et du refroidissement, en couplant astucieusement des polymères possédant des propriétés de séparation de phase opposées avec la température.



EN BREF

Prédire la réponse mécanique des polymères vitreux



Pour étudier le rôle du désordre dynamique sur les propriétés mécaniques des polymères vitreux, le SIMM a développé, en partenariat avec le Centre des matériaux des Mines de Paris, une approche combinant mécanique des milieux continus et physique statistique. Les chercheurs ont ainsi montré que la réponse mécanique macroscopique d'un polymère vitreux dépend des couplages entre les hétérogénéités de sa structure. Si les caractéristiques du polymère changent en situation confinée, comme on l'observe expérimentalement, c'est que ces couplages disparaissent. Ce modèle permet de prédire la réponse mécanique du polymère à partir de son désordre intrinsèque initial, de manière quantitative. Il peut être utilisé pour étudier les matériaux industriels complexes comme les élastomères renforcés, les polymères semi-cristallins ou les mélanges polymères. Ce travail est développé dans le cadre d'une chaire tripartite entre le SIMM, le Cemef et la société Hutchinson.

À LIRE : *Role of Dynamical Heterogeneities on the Mechanical Response of Confined Polymer*, R. J. Masurel, P. Gelineau, S. Cantournet, A. Dequidt, D. R. Long, F. Lequeux, and H. Montes, *Phys. Rev. Lett.* 118, 047801, 2017.

Varier l'hydrophobie en continu

La dispersion de particules hydrophobes dans l'eau est particulièrement difficile. En collaboration avec Saint-Gobain Recherche, le laboratoire a mis au point un protocole de synthèse de nanoparti-

cules de silice dont le caractère hydrophobe peut être varié continûment. En pratique, cela a permis de mettre au point des structures poreuses résistantes au séchage qui pourraient être utilisées pour l'isolation thermique des bâtiments. D'un point de vue fondamental, l'analyse de la dimensionnalité des agrégats en fonction du caractère hydrophobe et de la concentration des particules pourrait permettre de mieux appréhender les interactions hydrophobes. Une collaboration dans ce sens a débuté avec des théoriciens de l'Institut de la matière molle de l'université de Georgetown.

À LIRE : *Hydrophobization of Silica Nanoparticles in Water: Nanostructure and Response to Drying Stress*, S. Moro, C. Parneix, B. Cabane, N. Sanson, J.-B. d'Espinose de Lacaillerie, *Langmuir*. 33, 4709-4719, 2017.

Hydrogels antibuée

Les hydrogels sont des réseaux polymères fortement hydrophiles capables d'absorber jusqu'à plusieurs fois leur volume d'humidité. Déposés en films minces, ce sont des candidats intéressants pour la réalisation de revêtements antibuée sur des substrats comme le verre. Le SIMM s'est intéressé non seulement aux liens entre la physico-chimie des revêtements d'hydrogels et la cinétique de diffusion de l'eau, mais également à leurs propriétés de frottement, essentielles du point de vue de leur tenue mécanique. En se fondant sur l'élaboration de réseaux modèles de physico-chimie variée au moyen de protocoles innovants, le laboratoire a montré comment l'hygroscopie du polymère, l'architecture et l'épaisseur des films contrôlent leur cinétique de gonflement dans un flux de vapeur, et donc leur capacité à retarder l'apparition de la buée.

À LIRE : *Friction of poroelastic contact with thin hydrogel layers*, J. Delavoipière, Y. Tran, E. Verneuil, B. Herteufeu, C.-Y. Hui and A. Chateauminois, *Langmuir* 34, 9617-9626, 2018. *Swelling dynamics of surface-attached hydrogel thin films in vapor flows*, J. Delavoipière, B. Herteufeu, J. Teisseire, A. Chateauminois, Y. Tran, M. Fermigier and E. Verneuil, *Langmuir*, 2018w.

ESPCI  PARIS | PSL 

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE
INDUSTRIELLES DE LA VILLE DE PARIS

10, rue Vauquelin, 75231 PARIS CEDEX 05
+ 33 1 40 79 44 00

espci.psl.eu

