

# Une prédiction simple de la rupture de gels de protéines

Brice Saint-Michel<sup>1</sup>, Thomas Gibaud<sup>1</sup> & Sébastien Manneville<sup>1</sup>

Univ Lyon, Ens de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France  
thomas.gibaud@ens-lyon.fr

Le comportement des solides mous tels les gels, les mousses, et les émulsions soumis à de fortes déformations est d'importance pour les secteurs agroalimentaire, cosmétique et biomédical [1]. En effet, ces matériaux *cèdent* et deviennent fluides au delà d'une contrainte seuil. Cette transition est généralement réversible. Pour les matériaux mous très cohésifs, cette transition est irréversible et associée à des motifs de fracture [2,3]. Le suivi d'une telle transition se heurte à plusieurs difficultés expérimentales [4,5], et il est encore impossible de déterminer le point de rupture sans endommager irréversiblement les matériaux [6,7].

Dans cette présentation, nous étudions la rupture irréversible de gels de caséinate de sodium [3,8]. Nous prenons le contrepied des études classiques effectuées à contrainte fixe imposée [3] et appliquons une contrainte oscillante; cela permet à la fois de suivre précisément l'évolution des non-linéarités avec l'amplitude ou la fréquence de la contrainte de cisaillement appliqué [8] et d'étudier la résistance de notre gel à la *fatigue* mécanique, encore mal comprise dans les matériaux mous [4].

Nous avons tout d'abord vérifié à l'aide d'un dispositif d'échographie ultrasonore [9] que nos échantillons sont cisailés de manière homogène jusqu'au point de rupture. Nous avons ensuite étudié la projection du cisaillement mesuré par le rhéomètre sur des séries de Fourier :  $\gamma(t) = \sum_{k=1}^{18} \gamma_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k)$ , pour des contraintes de cisaillement  $\sigma_1$  croissantes.

Nous observons que les courbes  $\gamma_k(\sigma_1/G')$  sont des courbes maîtresses indépendantes de la concentration en caséine –et donc, du module de cisaillement linéaire élastique  $G'$ – des gels. Ces courbes présentent des lois de puissance dans un régime de moyennes déformations qui permettent de proposer une estimation du point de rupture du gel par des expériences loin des régimes d'endommagement. Les tests de fatigue, où une contrainte oscillante d'amplitude fixe  $\sigma_1$  est appliquée jusqu'à la rupture du gel, suivent les mêmes lois une fois les données correctement normalisées. Ce résultat suggère que l'état de fatigue du matériau (dans le sens de proximité du point de rupture) est entièrement déterminé par sa déformation  $\gamma_1$ , sans mémoire supplémentaire des événements de cisaillement passés. Enfin, nous caractérisons la rupture du gel, liée à une séparation de phase en deux parties, une liquide et une solide.

## Références

1. J. BURDICK, G. PRESTWICH., Hyaluronic acid hydrogels for biomedical applications, *Adv. Mater.*, **23**, 41–56 (2011).
2. T. BAUMBERGER *et al.*, Solvent control of crack dynamics in a reversible hydrogel, *Nat. Mater.*, **5**, 552–555 (2006).
3. M. LEOCMACH *et al.*, Creep and Fracture of a Protein Gel under Stress, *Phys. Rev. Lett.*, **113**, 038303 (2014).
4. T. GIBAUD *et al.*, Multiple yielding processes in a colloidal gel under large amplitude oscillatory stress, *Soft Matter*, **12**, 1701 (2016).
5. T. DIVOUX *et al.*, Wall slip across the jamming transition of soft thermoresponsive particles, *Phys. Rev. E*, **92**, 060301 (2016).
6. J. GOYON *et al.*, Spatial cooperativity in soft glassy flows, *Nature*, **454**, 84–87 (2008).
7. A. AMON *et al.*, Hot spots in an athermal system, *Phys. Rev. Lett.*, **108**, 135502 (2012).
8. L. BREMMER *et al.*, On the fractal nature of the structure of acid casein gels, *Colloids Surf.*, **51**, 159 (1990).
9. T. GALLOT *et al.*, Ultrafast ultrasonic imaging coupled to rheometry : Principle and illustration, *Rev. Sci. Instr.*, **84**, 045107 (2013).