

Fractures en échelons dans les solides mous

La rupture d'un matériau en traction produit en général des surfaces de fracture planes. Toutefois, l'application d'un cisaillement parallèle au front de fissure provoque systématiquement l'apparition de marches sur le faciès de rupture, les faces entre marches tournant au fur et à mesure de la propagation pour se rapprocher d'une situation de traction pure. La compréhension de cette instabilité en échelons, observée dans pratiquement tous les matériaux est un des défis actuels théoriques en mécanique de la fracture auquel les chercheurs de l'équipe « Mécanique multi-échelles des solides faibles » de l'INSPI apportent aujourd'hui une réponse.

Les chercheurs ont étudié cette instabilité en utilisant un solide très déformable (un hydrogel de gélatine) dans lequel on peut contrôler la vitesse de propagation des fissures. Ils ont ainsi pu suivre l'évolution d'une fracture initialement plane soumise à un chargement mixte traction/cisaillement (**Figure 1**). Ils ont montré que les marches n'apparaissent qu'au delà d'un seuil fini du rapport des contraintes de cisaillement et de traction. En dessous du seuil, le front de fissure reste rectiligne mais tourne de façon à retrouver la situation de traction pure après s'être propagé sur une distance fixée par la largeur de l'échantillon. L'analyse profilométrique des surfaces de fracture (**Figure 1**) montre que contrairement aux prédictions de la mécanique de la fracture élastique linéaire, ces échelons ne naissent pas de façon homogène le long du front de fracture via une bifurcation directe, mais sont nucléés sur des fluctuations de structure, gelées lors de la prise du matériau et agissant comme des concentrateurs locaux de contrainte.

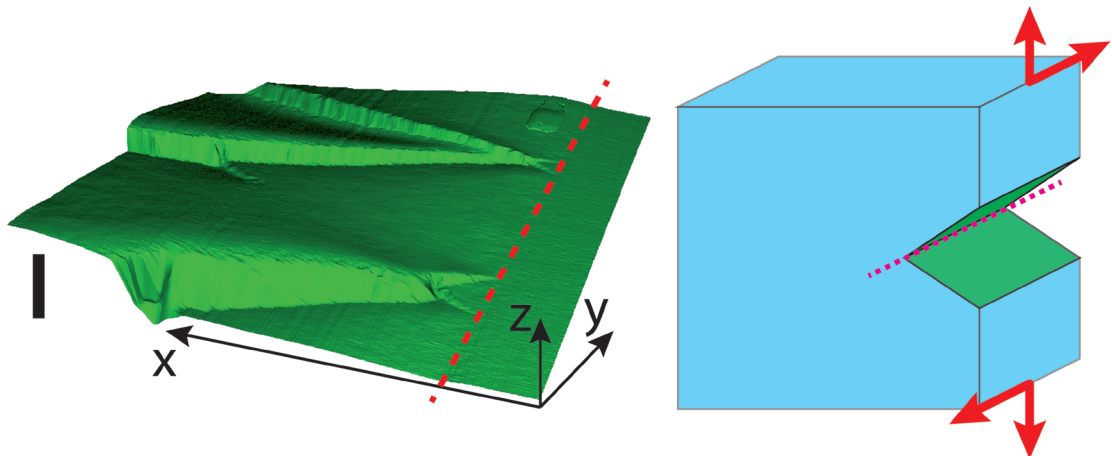


Figure 1

Surface de fracture ($8 \times 10 \text{ mm}^2$) en échelons (barre verticale $500 \mu\text{m}$) se développant à partir d'une entaille rectiligne (ligne en pointillés) soumise à un chargement mixte (traction + cisaillement).

L'équipe a montré que l'effet du cisaillement est de favoriser une instabilité du front de fracture qui se manifeste en traction pure dans les solides mous (gels, élastomères) présentant de fortes non-linéarités élastiques : les inhomogénéités de contraintes produites par le désordre statistique de la structure du matériau induisent, dans certaines conditions, le repliement du front de fracture laissant des marches sur le faciès. Ainsi, l'instabilité en échelon apparaît comme le prolongement de cette instabilité dite de « cross-hatching », ici biaisée par la présence du cisaillement qui favorise le repliement du front.

Ces résultats montrent le rôle essentiel des non linéarités élastiques du matériau, exacerbées ici par la grande déformabilité du gel. Cette étude pose la question du rôle de ces non linéarités, y-compris pour des matériaux « durs » plus usuels, dans la formation d'instabilités de front de fracture laissant apparaître des échelles spatiales que la théorie de la fracture en élasticité linéaire ne peut prédire.

Référence

« Crack front échelon instability in mixed mode fracture of a strongly nonlinear elastic solid »
O. Ronsin, C. Caroli et T. Baumberger
EPL, 105, 34001 (2014)

Contact

olivier.ronsin@insp.jussieu.fr