

Morphogenèse et dissipation lors de la découpe des matériaux mous – proposition de thèse – ED397

En mécanique de la rupture, l'énergie nécessaire à la propagation des fissures provient à la fois du travail appliqué à distance et de la libération de l'énergie élastique stockée dans l'échantillon, mais l'étendue et la direction de la propagation des fissures sont libres et émergent de l'interaction entre minimisation et dissipation de l'énergie. Lors de la coupe, le travail est appliqué localement à travers l'outil : l'étendue et la direction de la propagation des fissures sont fortement influencées par le mouvement de la lame [1].

Il manque encore une vision physique unificatrice de la découpe adaptée à une grande classe de matériaux, en particulier pour les matériaux mous. Les outils standard de la mécanique de la rupture élastique linéaire ne sont pas adaptés pour traiter un problème où le chargement se produit directement au niveau des lèvres de la fissure plutôt qu'à distance. Les champs de fissures locaux sont fortement couplés à la forme et au mouvement de la lame, ce qui implique des problèmes subtils d'adhésion et de frottement. Dans ce contexte, l'énergie de rupture et la direction de propagation ne sont pas indépendantes de la forme de la lame et de nouveaux outils doivent être développés pour les décrire. Bien que le cas des matériaux mous revête une importance particulière pour de nombreuses applications industrielles, très peu d'outils sont disponibles pour faire face aux très fortes déformations non linéaires à différentes échelles, qui rendent difficile la découpe de pièces de la forme souhaitée et avec un bon état de surface.

Lors de la découpe de matériaux mous (et tenaces), une complexité supplémentaire émerge des grandes déformations subies par le matériau pendant la coupe. D'une part, la trajectoire ne peut être imposée que dans le matériau déformé, et le contrôle est perdu sur la forme des surfaces de coupe résultantes (comme on le voit sur la figure). D'autre part, la réponse constitutive des matériaux mous à ces grandes déformations peut être très non linéaire et spécifique à chaque matériau [2].

Le processus de découpe est donc une combinaison de contact, de rupture, d'adhésion et de frottement avec des non-linéarités géométriques et matérielles : six sources différentes de non-linéarités qui promettent une morphogenèse riche mais aussi des comportements très erratiques rendant l'expérimentation difficile.



Motif sinusoïdal sur la surface découpée flexible



Découpe avec une lame

Nous prévoyons d'étudier systématiquement ces phénomènes expérimentalement en utilisant une large gamme de matériaux, avec des rigidités/ténacités variables, des configurations de chargement, et une géométrie/rigidité de lames affûtées sur mesure [3]. Nous visons à développer un cadre théorique commun pour traiter la découpe des matériaux mous basé sur la combinaison d'outils de mécanique de la rupture et du contact, de physique non linéaire et statistique pour traiter l'interaction des instabilités et de l'hétérogénéité. Notre objectif est de capitaliser sur la compréhension acquise pour programmer la forme des surfaces de coupe à partir en ajustant le chargement des échantillons et des outils de coupe.

[1] T. Atkins. The Science and Engineering of Cutting (2009).

[2] C. Creton and M. Ciccotti. Fracture and adhesion of soft materials : a review, Reports on Progress in Physics, 79, Art N. 046601 (2016).

[3] F. Lechenault, I. Ramdane, S. Moulinet, M. Roman-Faure and M. Ciccotti. Soft coring: how to get a clarinet out of a flute? Extreme Mechanics Letters 61, 101976

Contacts:

Matteo Ciccotti - SIMM - ESPCI Paris - matteo.ciccotti@espci.fr

Frédéric Lechenault - LPENS - frederic.lechenault@phys.ens.fr

Morphogenesis and dissipation when cutting soft materials

PhD Proposal – ED397

In fracture mechanics the energy required for crack propagation comes from both the work applied remotely and the release of elastic energy stored in the sample, yet extent and direction of crack propagation are free and emerge from the interplay of energy minimization and dissipation. In cutting, the work is applied locally through the tool and both the extent and direction of crack propagation are tentatively enforced by the motion of the blade [1].

A unifying physical view of cutting suitable for a large class of materials is still lacking, especially for soft materials. The standard tools of linear elastic fracture mechanics are not suited to treat a problem where the driving arises directly at the crack lips instead of remotely. The local crack fields are strongly coupled with the shape and motion of the blade, involving subtle adhesion and friction problems. In this context the fracture energy and direction of propagation are not independent of the shape of the blade and new tools have to be developed to describe them. Although the case of soft materials is of particular importance for many industrial applications, very few tools are available to deal with the very strong nonlinear deformations at different scales, which make it difficult to cut parts of the desired shape and with good surface finish.

When cutting soft (and tough) materials, additional complexity emerges from the large strains experienced by the material during the cutting. On the one hand, the path can only be imposed in the deformed material and control is lost on the shape of the resulting cut surfaces (as seen in the figure). On the other hand, the constitutive response of soft materials to large strains can be very nonlinear and specific to each material [2].

The cutting process is thus a combination of contact, fracture, adhesion and friction with geometrical and material nonlinearities: six different sources of nonlinearities which are promising for both a rich morphogenesis and very erratic behaviors making experimentation very challenging.



Sinusoidal pattern in the cut surface



Cutting with a flexible blade

We plan to systematically investigate these phenomena experimentally by using a large range of materials, with variable stiffness/toughness, loading configurations, and the geometry/stiffness of custom sharpened blades [3]. We aim at developing a common theoretical framework to deal with our cutting of soft materials based on combination of fracture and contact mechanics tools, nonlinear and statistical physics to deal with the interplay of instabilities and heterogeneity. We aim at capitalizing on the achieved understanding to program the shape of the cut surfaces from custom loading of both the samples and the cutting tools.

[1] T. Atkins. The Science and Engineering of Cutting (2009).

[2] C. Creton and M. Ciccotti. Fracture and adhesion of soft materials : a review, Reports on Progress in Physics, 79, Art N. 046601 (2016).

[3] F. Lechenault, I. Ramdane, S. Moulinet, M. Roman-Faure and M. Ciccotti. Soft coring: how to get a clarinet out of a flute? Extreme Mechanics Letters 61, 101976

Contacts:

Matteo Ciccotti - SIMM - ESPCI Paris - matteo.ciccotti@espci.fr

Frédéric Lechenault - LPENS - frederic.lechenault@phys.ens.fr