Stage de M2 / Thèse

Effets mémoire dans les tricots

Directrice : Audrey Steinberger
audrey.steinberger@ens-lyon.fr
04 26 23 39 60

Laboratoire de Physique
ENS de Lyon, CNRS UMR5672
46 allée d'Italie, 69007 LYON

Resumé : Un tricot peut être considéré comme un système modèle, à la croisée des chemins entre textiles, métamatériaux mécaniques, et assemblées de fibres frictionnelles. Sa forme et ses contraintes élastiques internes dépendent de son histoire passée. Cette mémoire mécanique émerge du frottement sec entre les fils. A partir d'une démarche expérimentale associée à de la modélisation, ce projet vise à comprendre quantitativement les effets mémoire dans un tricot modèle, à manipuler cette mémoire par des opérations mécaniques, et à identifier ce qui est propre au tricot et ce qui est un comportement générique, retrouvé à l'identique dans des systèmes aussi variés que des polymères, des gels, des tas de sable, du papier froissé...

Les tricots sont des réseaux de boucles entrelacées (appelées mailles), stabilisés par leur topologie. Ces matériaux du quotidien possèdent des propriétés mécaniques remarquables qui émergent de leur architecture en boucles : à la fois très légers et résistants, ils sont aussi extrêmement déformables et fortement anisotropes. Les tricots présentent aussi des effets mémoire : par exemple, leur forme au repos dépend de l'histoire des contraintes qu'ils ont subies (Figure 1(a) et référence [1]).

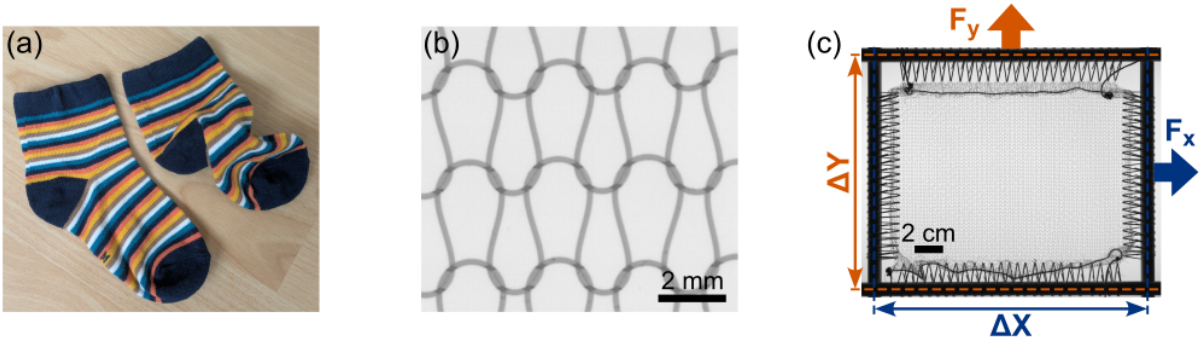


FIGURE 1 – (a) Deux chaussettes en tricot au repos après des sollicitations mécaniques différentes. (b) Zoom sur la structure d'un tricot modèle en monofil de Nylon. (c) Un tricot modèle accroché sur les quatre barres de traction de la machine de traction biaxiale du Laboratoire de Physique. Les attaches métalliques peuvent glisser sur les barres cylindriques. Les forces horizontale F_x et verticale F_y sont mesurées en fonction des distances horizontale ΔX et verticale ΔY entre les paires de barres. Photographies (a) et (b) : A. Steinberger, (c) : A. Faulconnier.

Dans le régime des petites contraintes et aux temps courts, lorsque la plasticité et l'usure des fils sont négligeables, ces effets mémoire proviennent uniquement du frottement sec au niveau des croisements de fils. Sous l'effet d'une sollicitation mécanique, le frottement introduit non seulement de la dissipation mais aussi du désordre dans le réseau mécanique. Ce désordre est induit par un ensemble complexe de mouvements de stick-slip au niveau des contacts entre les fils, mis en évidence par le déplacement intermittent de blocs de mailles dans un tricot étiré [2]. Ces deux ingrédients, dissipation et désordre, se retrouvent dans de nombreux systèmes qui conservent également une mémoire de leur passé : des polymères, des gels, des matériaux granulaires, du papier froissé... Comment une mémoire mécanique émerge-t-elle en pratique dans un tricot ? Peut-on la caractériser quantitativement ? Y a-t-il un temps caractéristique, au delà duquel l'histoire passée de l'échantillon est oubliée ? Des tailles caractéristiques ? Peut-on délibérément imprimer, lire, effacer ce type de mémoire par des jeux de sollicitations mécaniques ? Qu'est ce qui est propre au tricot et qu'est ce qui est générique ?

Ces questions sont au cœur de cette proposition de stage de M2 et/ou de thèse. Pour y répondre, nous réaliserons des expériences sur des tricots modèles en monofil de Nylon (Figure 1(b)) sollicités mécaniquement à l'aide d'une machine de traction biaxe. Ce dispositif, construit sur-mesure au Laboratoire de Physique, permet de mesurer la force appliquée sur les bords de l'échantillon en fonction de l'étirement imposé (Figure 1(c)), tout en imageant l'échantillon à l'aide d'une caméra afin de suivre la déformation et le déplacement des mailles. Ce type d'expériences nous a déjà permis de mettre en évidence un ensemble continu d'états métastables dans un tricot au repos, c'est à dire en l'absence de forces extérieures [3]. Il s'agit maintenant de caractériser le tricot sous tension. Le coefficient de frottement pourra être varié en lubrifiant le tricot ou en soudant thermiquement les fils de Nylon aux points de contacts. Dans un deuxième temps, pendant la thèse, l'interaction avec des vibrations mécaniques (ondes élastiques) pourra également être étudiée, de même que l'influence de défauts localisés, mous ou rigides, sur la réponse mécanique des tricots et leurs effets mémoire, ... le sujet est riche et ouvert.

Les résultats obtenus sur le tricot seront comparés à d'autres systèmes soumis à des sollicitations similaires : films de polymères (C. Crauste-Thibierge, Laboratoire de Physique), fils torsadés et cordages (A. Seguin, Laboratoire FAST, Orsay), tissus (F. Lechenault, LPENS, Paris), gels (S. Aimé, C3M, Paris). Pour les modéliser, nous croiserons une approche décrivant quantitativement la mécanique de filaments élastiques en contacts frictionnels dans la géométrie du tricot (J. Crassous, PMMH, Paris ; S. Poincloux, Université Aoyama Gakuin, Japon ; M. Adda-Bedia, Laboratoire de Physique), avec une approche générique basée sur des modèles élasto-plastiques mésoscopiques minimaux (D. Vandembroucq, PMMH, Paris ; M. Mungan, Université de Cologne, Allemagne).

Au cours de ce stage et/ou de cette thèse, vous réaliserez une démarche expérimentale complète : fabrication d'échantillons à l'aide d'une machine à tricoter, élaboration et implémentation de nouveaux protocoles expérimentaux, réalisation des expériences, et analyse des données. Vous participerez aussi à la modélisation des résultats obtenus. Vous devrez soigneusement documenter votre travail et l'expliquer à l'oral et à l'écrit. Les qualités requises sont un goût pour le travail expérimental et les discussions scientifiques, de la curiosité, de la persévérance, et un intérêt marqué pour cette thématique de recherche.

Intéressée ou intéressé par ce sujet ? Pour plus d'informations, je vous invite à me contacter directement par mail à l'adresse audrey.steinberger@ens-lyon.fr. Pour candidater, il faudra fournir un CV détaillé et expliquer en quelques phrases ce qui vous attire dans ce projet.

Références

[1] M. KOPPE, Le tricot, métamatériau du quotidien. *CNRS Le journal* (2024). URL : https://lejournal.cnrs.fr/articles/le-tricot-metamateriau-du-quotidien

[2] S. POINCLOUX, Knit and Stretch. *American Scientist* **107**, p. 106 (2019). URL : https://www.americanscientist.org/article/knit-and-stretch

[3] J. CRASSOUS, S. POINCLOUX et A. STEINBERGER, Metastability of a Periodic Network of Threads : Shapes of a Knitted Fabric. *Phys. Rev. Lett.* **133**, p. 248201 (2024). URL : https://arxiv.org/pdf/2404.07811v2