

L'ESSENTIEL

> Grâce à leur structure en mailles, les tricots sont des objets très élastiques.

> De ce fait, le principe du tricot intéresse les industriels, par exemple pour consolider des matériaux composites ou pour concevoir des robots souples.

> L'étude de la force nécessaire pour étirer un tricot fait apparaître une loi statistique universelle, que l'on retrouve par exemple dans les séismes.

L'AUTEUR



SAMUEL POINCLoux
chercheur postdoctorant à
l'École polytechnique fédérale
de Lausanne, en Suisse

Élastique comme un tricot

Un réseau de mailles présente des propriétés mécaniques singulières. Leur étude révèle des connexions étonnantes avec les séismes. Et inspire aussi la conception de robots souples.

En général, quand un étudiant démarre une thèse de doctorat en physique, il doit d'abord assimiler l'état de l'art de son domaine de recherche (en lisant beaucoup d'articles), apprendre à utiliser l'équipement du laboratoire et peut-être effectuer quelques expériences préliminaires. Dans mon cas, il en a été tout autrement: j'ai commencé par regarder des vidéos sur Youtube afin d'améliorer ma technique de tricotage! En effet, ma thèse avait pour sujet les propriétés mécaniques des étoffes tricotées et leur comportement quand on les étire.

Mon étude avait deux facettes, l'une théorique, dans laquelle je devais déterminer les équations qui décrivent au mieux le système, et l'autre expérimentale, pour laquelle je devais tester mécaniquement de véritables tricots afin de guider et valider mes équations théoriques. J'avais cependant un petit problème: au moment

où j'ai accepté ce sujet de thèse, je savais à peine ce qu'était un tricot, et encore moins tricoter.

J'ai rapidement appris qu'il existe des différences à la fois structurelles et mécaniques entre un matériau tricoté (tel qu'un pull-over, une écharpe ou un bonnet) et une étoffe tissée (telle qu'une nappe, une chemise ou un jean). Ces différences sont faciles à mettre en évidence. Si vous tirez sur votre jean, le tissu se déforme à peine. En revanche, si vous tirez sur un pull en tricot, vous en augmentez facilement la longueur (jusqu'à la doubler) dans cette direction. L'élasticité d'un tricot apparaît aussi au grand jour si vous enveloppez un objet avec le textile: en s'étirant localement, un tricot s'adapte à des formes complexes et épouse parfaitement les surfaces. À l'inverse, un tissu qu'on essaye de plaquer sur une surface sphérique, par exemple, fera des plis.

Cette différence de comportements ne s'explique pas par la nature des fils utilisés; un



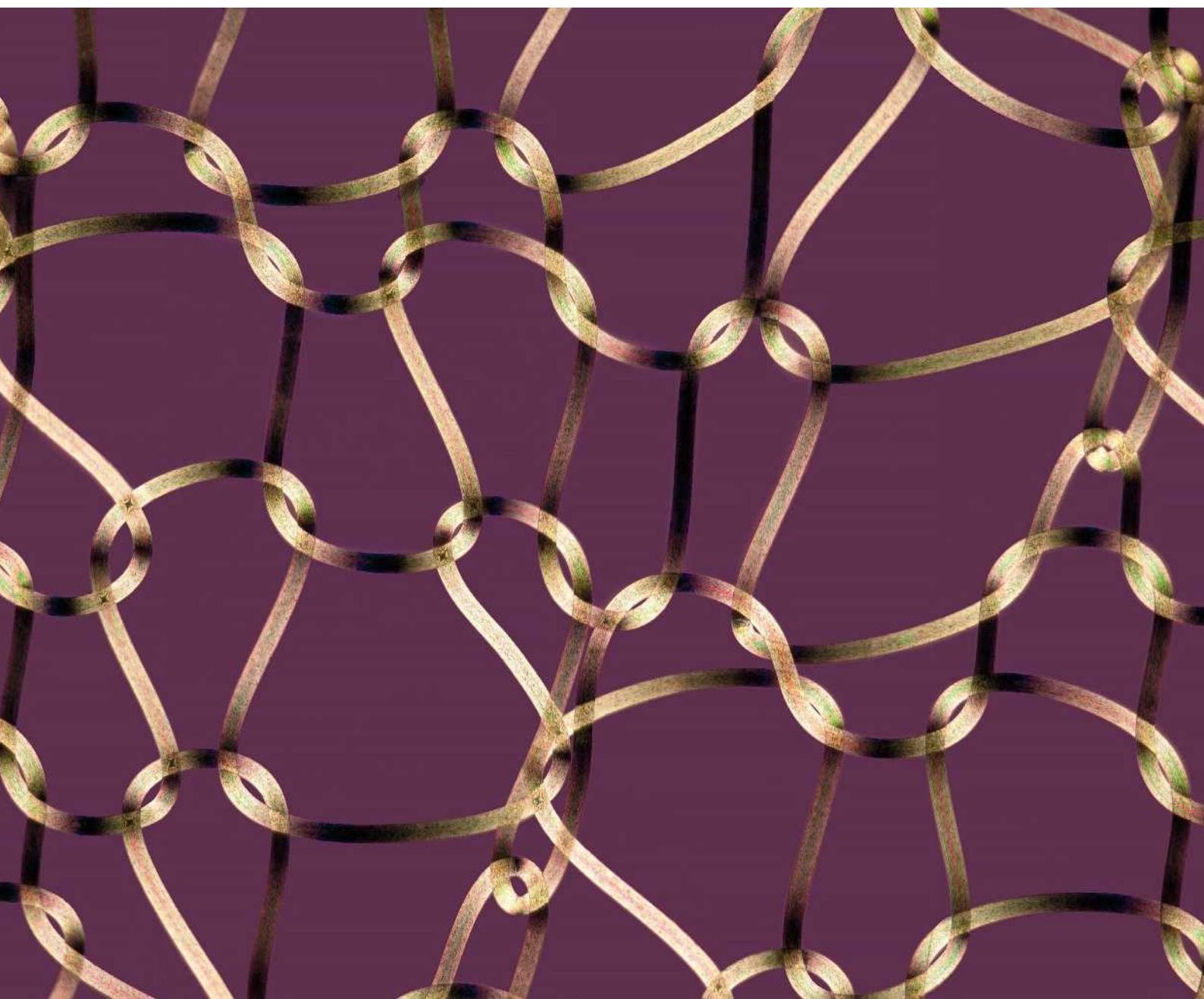
© Science Photo Library/Steve Lowry

tricot et un tissu fabriqués avec le même type de fils présenteront aussi des propriétés opposées. En fait, le comportement mécanique est essentiellement dicté par les entrelacements des fils qui sous-tendent la structure du matériau. Ainsi, un textile tissé est constitué de deux groupes de fils qui s'entrecroisent à angle droit (*voir la figure page 40*). Quand on tire sur un tissu, l'effet est presque le même que si on tirait sur le fil lui-même. L'élasticité du tissu est alors celle du fil.

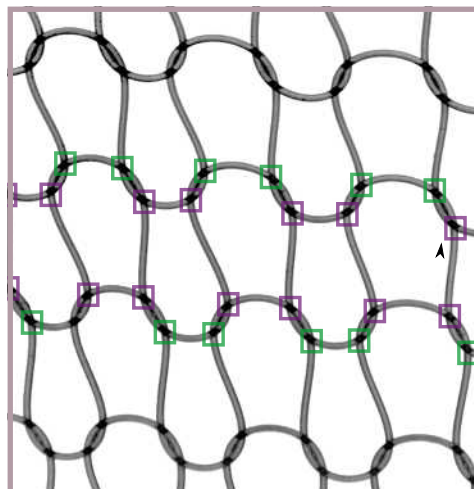
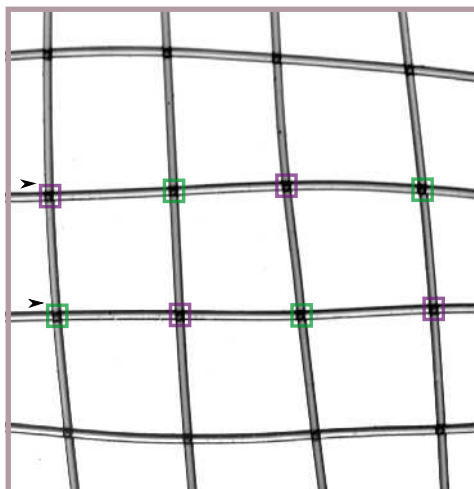
En revanche, les textiles tricotés sont généralement constitués d'un unique fil formant un réseau de boucles, qui constituent

les mailles du tricot. Tirer sur un tricot a donc pour effet de déformer les boucles, et non de tirer sur le fil lui-même. C'est cette structure d'entrelacs qui confère toute son élasticité au tricot, et cela même si le fil lui-même n'est pas élastique.

Bien évidemment, avec mes directeurs de thèse Mokhtar Adda-Bedia et Frédéric Lechenault, à l'École normale supérieure, à Paris, nous n'étions pas les premiers à nous interroger sur les déformations du tricot. Quiconque s'adonne au tricot a une certaine connaissance empirique de la structure et de la mécanique du tricot. L'industrie, et pas seulement dans le >



Les matériaux tissés et tricotés se comportent différemment à cause de la façon dont le fil y est arrangé. Dans le tissu (à gauche), les fils sont rectilignes et se croisent perpendiculairement en passant alternativement au-dessus ou au-dessous (carrés violets ou verts) d'un autre. Dans un tricot, il n'y a qu'un seul fil qui fait des boucles, les « mailles ».



> domaine de l'habillement, s'intéresse aux propriétés de ces étoffes. Par exemple, on utilise les matériaux tricotés pour renforcer des éléments composites dans les avions, les automobiles ou les trains. De plus, le tricotage a inspiré des travaux dans d'autres domaines, en mathématiques notamment. Par exemple, la mathématicienne Sarah-Marie Belcastro, de l'université du Massachusetts, à Amherst, aux États-Unis, illustre et étudie des surfaces mathématiques à topologie et géométrie complexes en les tricotant (voir *Pour la Science* n° 429).

Les chercheurs et les ingénieurs dans le domaine émergent de la « robotique molle » exploitent aussi les propriétés du tricot. En effet, il est possible de créer des milieux et des systèmes déformables dont il est facile d'ajuster les propriétés en exploitant les principes du tricot. Ainsi, en 2019, Katia Bertoldi, de l'université Harvard, aux États-Unis, et ses collègues ont conçu un gant robotisé intégrant des actionneurs pneumatiques textiles.

Les premières études sur la mécanique du tricot ont débuté dans les années 1960. Inspirées par les outils du génie mécanique de l'époque, ces recherches consistaient à modéliser la position exacte du fil dans une maille afin de déterminer comment ce fil se déforme sous l'effet d'une légère traction. Ces travaux ont livré des équations intéressantes, mais elles ne décrivaient qu'une maille, et pas l'ensemble du textile.

PLUS DE RÉALISME DANS LES FILMS

Plus récemment, c'est le développement de l'infographie (jeux vidéo, films d'animation, effets spéciaux, etc.) qui a motivé de nouveaux travaux reposant sur une approche numérique. L'objectif était de produire des représentations réalistes des vêtements portés par les personnages animés. En 2012, Cem Yuksel, de l'université de l'Utah, aux États-Unis, et ses collègues ont inauguré cette approche en développant un modèle entièrement numérique qui a pour point de départ le fil et qui remonte jusqu'au tricot dans sa globalité. Cela se traduit par un rendu très réaliste, mais l'approche numérique ne fournit pas d'expressions analytiques des constantes mécaniques du textile, ni ne renseigne sur les rôles joués par les paramètres structuraux (par exemple la taille de la maille) et les paramètres du matériau (comme la rigidité du fil).

Le but de ma thèse était donc de mettre en place une méthode qui se situe à mi-chemin entre les travaux qui décrivent analytiquement une seule maille et ceux de l'approche numérique globale, afin de mieux comprendre comment les différents éléments du tricot contribuent à ses propriétés élastiques. Était-il possible de formuler des équations pour décrire directement les propriétés mécaniques du textile entier tout en définissant le rôle des paramètres individuels ?

J'ai été rapidement confronté à deux problèmes très différents. Tout d'abord, malgré les



Avec cette machine à tricoter, l'auteur a produit des maillages très simples avec un fil de nylon.