

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

OFFRE NOËL

1 AN

3 FORMULES
AU CHOIX

	FORMULE PAPIER	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an			✓
Le hors-série papier 4 numéros par an		✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an			✓
Accès à pouirlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996			✓
Votre cadeau : le livre <i>Une histoire de flou</i> de Pierre Léna (74651805)	✓	✓	✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	59€ Au lieu de 102,80€	79€ Au lieu de 134,40€	99€ Au lieu de 194,40€

43 %
de réduction *

41 %
de réduction *

49 %
de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service abonnements – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email: pouirlascience@abopress.fr

PAG19NOE



**OUI, je m'abonne
pour 1 an à
POUR LA
SCIENCE**

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)

☐ **FORMULE PAPIER**
• 12 n° du magazine papier
+ UN CADEAU

59€
Au lieu de 102,80€

D1A59EK7

☐ **FORMULE PAPIER
+ HORS SÉRIE**
• 12 n° du magazine papier
• 4 Hors-série papier
+ UN CADEAU

79€
Au lieu de 134,40€

PIA79EK7

☐ **FORMULE INTÉGRALE**
• 12 n° du magazine
(papier et numérique)
• 4 Hors-série
(papier et numérique)
• Accès illimité aux contenus en ligne
+ UN CADEAU

99€
Au lieu de 194,40€

1IA99EK9

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville :

Téléphone [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Email : (indispensable pour la formule intégrale)

.....@.....

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science

☐ OUI ☐ NON

3 / Je choisis mon mode de règlement

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Date d'expiration [] [] [] [] Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB) [] [] []

Signature obligatoire :

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/05/2020 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site <https://boutique.pouirlascience.fr>. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément chaque élément de cette offre : les numéros de *Pour la Science* pour 6,90 €, les numéros de *Pour la Science Hors-série* pour 7,90 € et le livre *Une histoire de flou* pour 20,00 €.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour la Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pouirlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris CEDEX 14 - Sarl au capital de 32 000€ - RCS Paris B 311 797 393 - Siret : 311 797 393 000 23 - APE 58.14 Z

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



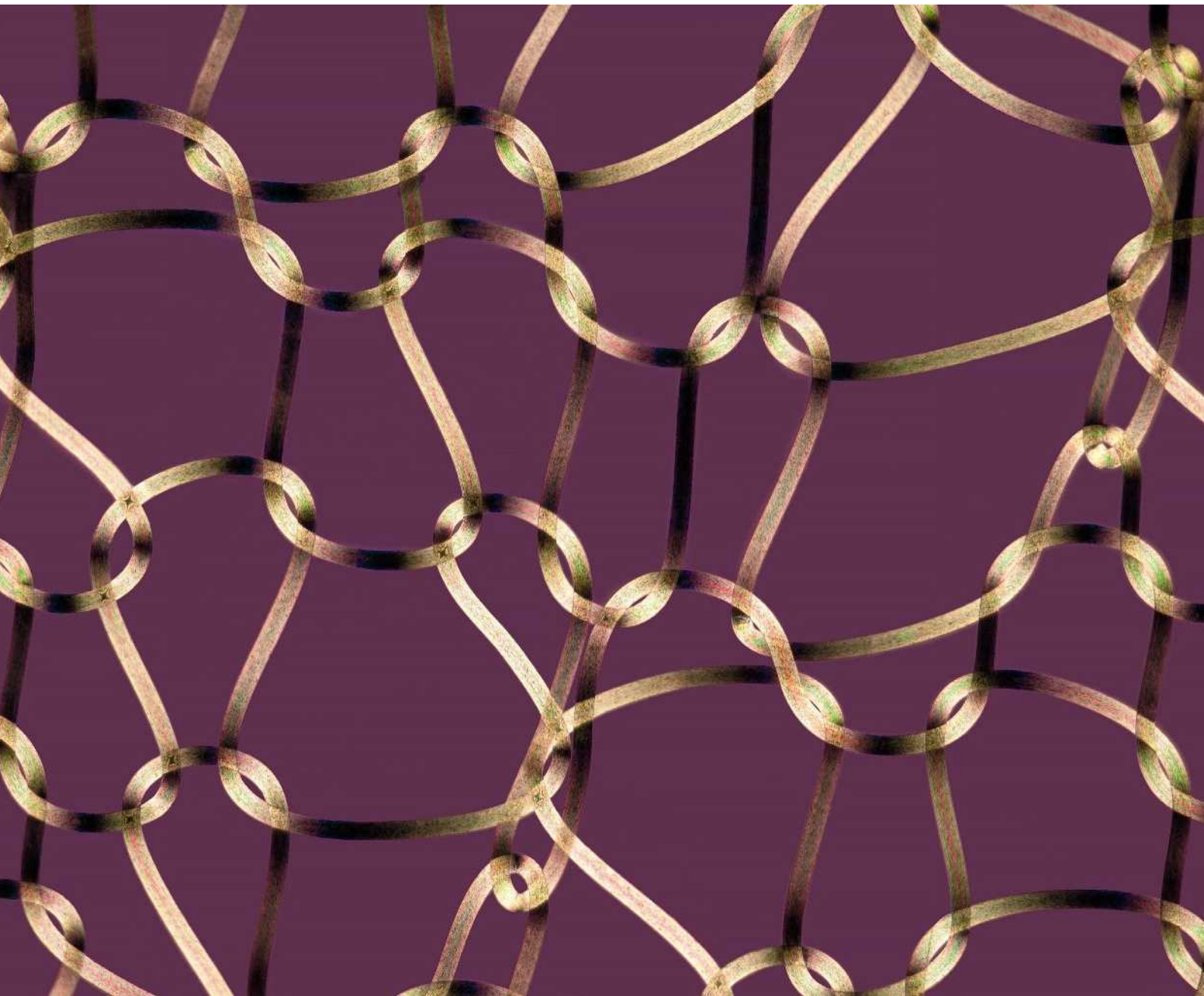
© Science Photo Library/Steve Lowry

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.

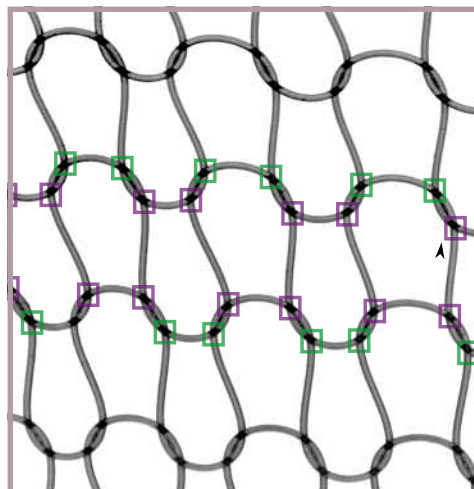
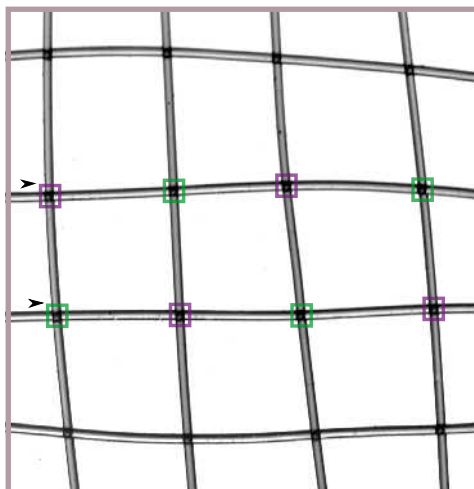
En revanche, les textiles tricotés sont généralement constitués d'un unique fil formant un réseau de boucles, qui constituent

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 structurels (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.

tutoriels sur Youtube et les précieux conseils de ma grand-mère, mes premiers tricotés étaient affreux et inutilisables pour les besoins de la recherche. Ensuite, le nombre de paramètres en jeu dans les tricotés ordinaires est très grand, parce que même les fils les plus classiques sont eux-mêmes des objets incroyablement compliqués, constitués de plusieurs fibres assemblées de façon peu régulière.

Afin de remédier aux limites de mes compétences en tricotage, j'ai contacté une école d'art voisine, qui, par chance, avait un atelier équipé de machines à tricoter manuelles et de métiers à tisser. Et surtout, le chef de l'atelier a eu l'amabilité de m'expliquer comment réaliser un tricot parfait. Avec ce savoir en poche (et une machine à tricoter d'occasion datant des années 1970 que nous avons achetée pour le laboratoire), j'étais enfin en mesure de produire des tricotés assez réguliers pour être utilisés dans nos expériences.

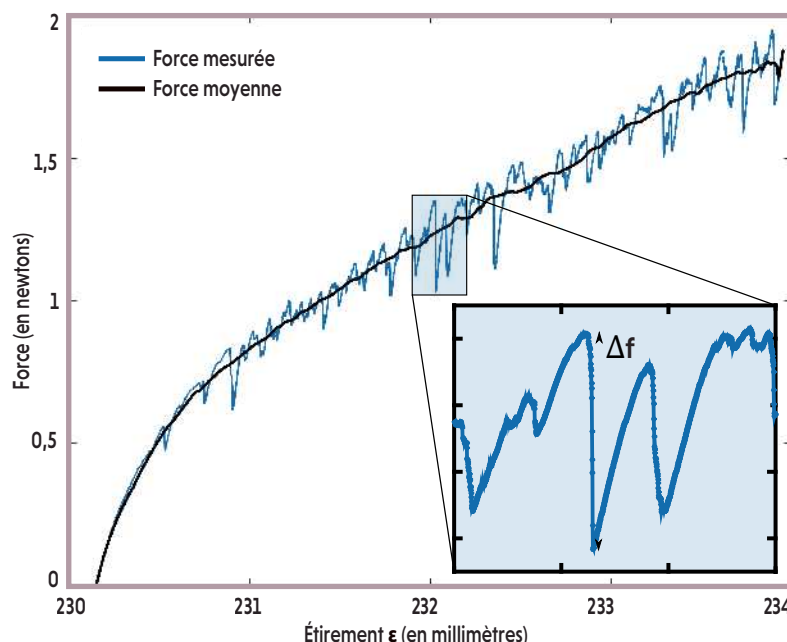
Pour résoudre le second obstacle, nous avons fait ce que font tous les physiciens : nous avons simplifié le problème autant que possible afin qu'il ne reste que les paramètres essentiels. Nous savions que ce qui définit un tricot est le réseau des points de croisement des fils, et nous avons commencé par choisir le fil le plus simple possible, du fil de pêche en nylon. Nous avons alors fait un tricot très lâche afin que le fil ne soit pas trop déformé (des courbures trop fortes auraient entraîné des déformations plus complexes à modéliser). Résultat : nous avons un matériau sans doute un peu osé s'il s'était agi d'en faire un vêtement, mais un bon point de départ pour notre étude. Ce tricot était assez simple pour être décrit à l'aide d'un nombre limité de facteurs (dont éventuellement quelques paramètres numériques) : l'élasticité du fil, la structure imposée par le motif d'entrelacs et la friction du fil sur lui-même aux points de croisement.

ÉLASTICITÉ ET TREMBLEMENTS

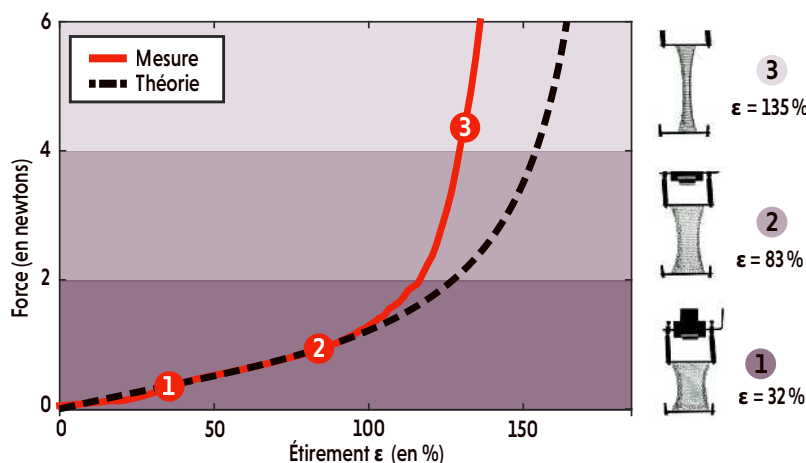
Afin d'évaluer la réponse mécanique de notre tricot, nous avons mesuré la force appliquée pour l'étirer, et nous avons pris des photos pour évaluer la déformation locale au niveau des mailles. Le résultat de la force à appliquer en fonction de l'étirement (voir la figure ci-contre, en haut) n'était pas aussi simple que nous l'avions anticipé. La réponse mécanique du tricot avait deux caractéristiques, l'une liée à l'élasticité et l'autre à du bruit. La composante élastique était simple à identifier et correspond à une augmentation régulière de la force à appliquer pour accroître l'étirement. En revanche, la réponse bruitée (de petites perturbations venant se superposer à la réponse élastique) était aléatoire et il fallait donc l'envisager d'un point de vue statistique.

Une fois ces deux composantes identifiées, nous les avons étudiées séparément.

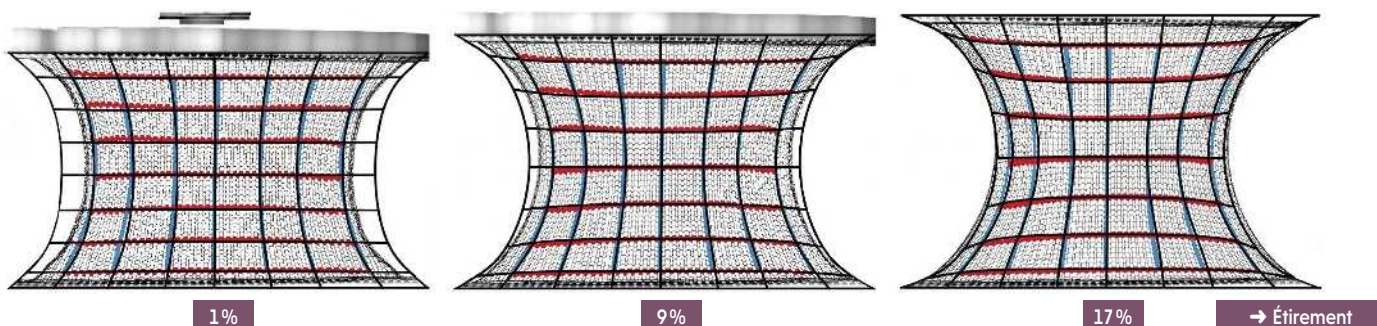
L'élasticité d'un tricot découle naturellement de celle du fil et des boucles périodiques du réseau de mailles, mais nous devons définir comment ces facteurs interagissent. Concrètement, nous avons déterminé comment l'énergie élastique du fil varie lorsque le tricot est déformé. Au lieu de fonder notre modèle sur le fil lui-même, comme dans les études mécaniques précédentes, nous avons considéré le tricot comme un réseau de >



La force appliquée en fonction de l'étirement du tricot caractérise le comportement mécanique du matériau. La réponse globale (en bleu) se décompose en deux parties, une composante moyenne (en noir) et des fluctuations. La première est liée à l'élasticité de la structure. Les propriétés de la seconde (dans le zoom), qui présente une série d'accroissements lents entrecoupés d'une baisse brutale, sont typiques de frottements.



Tant que l'étirement est inférieur à environ le double de la longueur initiale du tricot, le modèle théorique de l'auteur (en noir) rend parfaitement compte des observations (en rouge). Pour un étirement plus important, la force est sous-estimée, car le modèle ne prend pas en compte l'étirement et la compression du fil lui-même.



Quand on suit le comportement spécifique des mailles (*certaines lignes en rouge et en bleu*) pour différents étirements et que l'on compare au modèle (*en noir*), le résultat est plutôt satisfaisant. Mais à faible étirement, les mailles latérales sont mal restituées à cause du phénomène d'enroulement que l'on observe parfois sur des pulls : les mailles moins contraintes sur les extrémités des manches tendent à s'enrouler sur elles-mêmes.

> sous-unités, à savoir les mailles. Cette approche à l'échelle intermédiaire, entre le fil et le tricot, simplifie le problème parce qu'une maille est caractérisée seulement par la distance et l'orientation des mailles voisines, et non par toute la trajectoire du fil. La difficulté est d'exprimer l'énergie du fil en fonction de la géométrie de la maille.

Quand on étire notre tricot simplifié, le fil se déforme surtout en se courbant, parce que l'étirement du fil lui-même a un coût énergétique beaucoup plus élevé. Et la courbure du fil est étroitement liée à la forme de la maille. Par exemple, plus une maille est petite, plus la courbure du fil croît ; et l'énergie associée augmente en conséquence. On a donc une relation simple entre l'énergie et les paramètres du réseau de mailles. Par ailleurs, si on considère le fil comme inextensible, un lien très simple relie la taille de la maille et la longueur de fil dans celle-ci. Si une maille est étirée dans toutes les directions, la longueur de son fil augmente. Et, comme la longueur totale du fil est constante, si le tricot est étiré dans une direction, la déformation doit être compensée par un rétrécissement dans une autre direction.

À partir de ces remarques, nous avons établi une formule mathématique donnant la réponse mécanique d'une maille, et, par extension, celle du tricot où toutes les mailles sont déformées de la même façon. Le modèle rend parfaitement compte de la réponse élastique d'un tricot étiré (*voir la figure page 41, en bas*), et cela jusqu'à deux fois sa longueur initiale. Mais quand on étire au-delà, les mailles ne peuvent plus se resserrer latéralement, car elles sont limitées par l'épaisseur du fil. Ce dernier commence alors à s'étirer et se comprimer, type de comportement que notre modèle ne prend pas en compte. Par conséquent, celui-ci sous-estime la force de traction pour un étirement très important.

L'hypothèse de mailles qui se déforment toutes de la même façon suffit pour rendre compte du comportement global du tricot. Mais

il est plus réaliste de supposer que la déformation est hétérogène, c'est-à-dire que toutes les mailles du tricot ne se déforment pas de façon identique. Pour modéliser cette situation, nous avons gardé la même approche que précédemment, mais nous avons dû imposer une contrainte supplémentaire : la déformation d'une maille ne peut se faire indépendamment de ses voisines. Les mathématiques se compliquent alors un peu parce que la géométrie des mailles n'est plus décrite par de simples nombres, mais par des fonctions qui varient selon la position de la maille dans le textile. En se limitant à de faibles déformations du fil, les équations restent résolubles et fournissent une prédiction de la forme globale du textile et des mailles individuelles. Dans une expérience où nous avons étiré le tricot de façon à produire des déformations très hétérogènes (*voir les figures ci-dessus*), nous avons constaté un bon accord entre les mesures et notre modèle.

DU BRUIT DANS LE TRICOT

Revenons maintenant au bruit aléatoire, la seconde composante qui se manifeste lorsqu'on étudie la force à appliquer pour étirer un tricot. En analysant de près cette composante, nous avons remarqué que les fluctuations suivent un comportement particulier : elles augmentent lentement et de façon linéaire avec l'étirement avant de subir une chute soudaine et importante. Ce bruit n'est pas lié à notre dispositif de mesure (dont la sensibilité est 100 fois supérieure à celle nécessaire pour mesurer ces fluctuations) ; il est donc intrinsèque au tricot. Quelle est son origine ? Il est lié à la friction du fil. Quand on pousse un objet sur une surface, les frottements s'opposent à la force de poussée. Si celle-ci est inférieure à une valeur critique, le frottement domine et l'objet reste immobile ; au-dessus de ce seuil, la poussée prend le dessus et l'objet commence à glisser.

Ce phénomène de frottement avec un seuil est à l'œuvre à chaque point de croisement du fil avec lui-même dans les mailles du tricot. Quand vous tirez sur le tricot, certains contacts vont brusquement glisser quand le rapport des forces de poussée et de frottement atteint la valeur critique. On explique ainsi l'augmentation lente de la force entrecoupée de baisses

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.

BIBLIOGRAPHIE

F. Connolly et al., **Sew-free anisotropic textiles composites for rapid design and manufacturing of soft wearable robots**, *Extreme Mechanics Letters*, vol. 27, pp. 52-58, 2019.

S. Poincloux et al., **Crackling dynamics in the mechanical response of knitted fabrics**, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 121, article 058002, 2018.

S. Poincloux et al., **Geometry and elasticity of a knitted fabric**, *Phys. Rev. X*, vol. 8, article 021075, 2018.

S. M. Belcastro, **Le tricot mathématique**, *Pour la Science*, n° 429, juillet 2013.

C. Yuksel et al., **Stitch meshes for modeling knitted clothing with yarn-level detail**, *ACM Transactions on Graphics*, vol. 31(3), article 37, 2012.

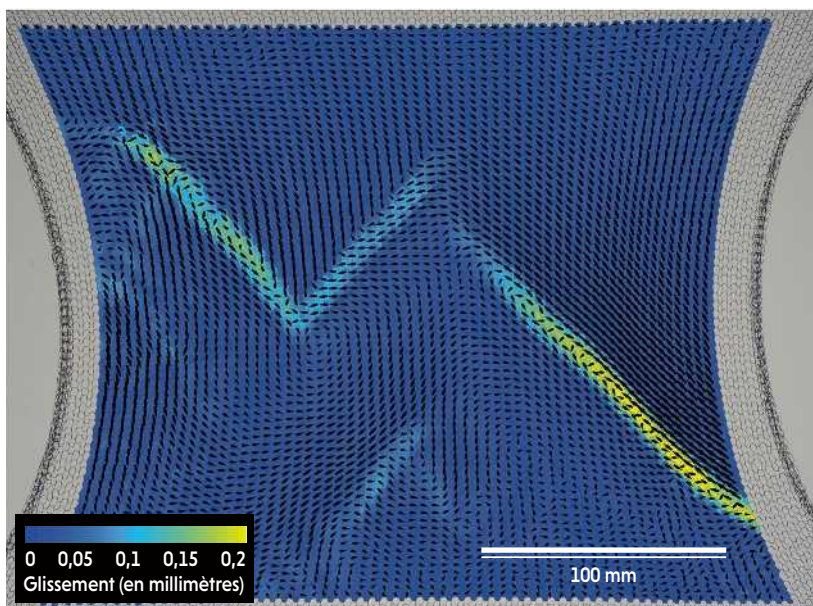
rapides : celles-ci correspondent au glissement soudain des points de contact et à la diminution associée de la résistance à la traction.

Les décrochements de la force présentent des amplitudes différentes, car un glissement ne correspond pas à un unique point de contact, mais à un ensemble de points plus ou moins nombreux qui glissent en même temps. Cette simultanéité est liée au fait que les mailles ne sont pas isolées les unes des autres, mais au contraire toutes connectées et reliées par le même fil. Pour repérer les points qui glissent lors d'un décrochage, nous avons pris des séquences de photos de tricot avec des étirements de 0,1% – une valeur insuffisante pour induire une déformation globale visible, mais assez importante pour déclencher un glissement de certains contacts. Les groupes de mailles qui glissent en même temps forment des ensembles très allongés (voir la figure ci-contre).

Comme nous l'avons dit, pour caractériser le bruit dû au glissement des points de contact, nous avons adopté une approche statistique. Nous avons examiné la distribution de probabilité de l'amplitude des décrochements, c'est-à-dire que nous avons répertorié tous les épisodes de glissement et nous avons noté de combien la force d'étirement baissait à chaque fois. Nous avons constaté qu'il y a de nombreuses petites baisses et très peu de baisses importantes. La distribution est globalement décrite par une loi de puissance (c'est-à-dire que la densité de probabilité est proportionnelle à l'amplitude de la baisse de la force élevée à une puissance donnée). Une conséquence de cette loi de puissance est ce qu'on appelle l'invariance d'échelle, qui signifie que certaines propriétés des événements de glissement sont indépendantes de leur taille.

Cette propriété est caractéristique du *crackling noise* (« crépitement »), à savoir une réponse intermittente que présentent de nombreux systèmes, où des phases de charge lente sont interrompues par des événements soudains. L'exemple le plus connu est celui des zones sismiques : quand deux plaques tectoniques en contact se déplacent en sens opposés (par exemple la plaque Pacifique et la plaque Nord-américaine), elles sont souvent dans une situation de blocage à cause de l'importance des frottements. De l'énergie de compression s'accumule progressivement, et lorsque les forces correspondantes surmontent les frottements, un glissement brusque survient et se traduit par un tremblement de terre.

En 1956, les géophysiciens Charles Richter et Beno Gutenberg ont proposé une loi statistique empirique qui décrit le nombre de séismes par unité de temps dans une région donnée en fonction de l'amplitude du séisme. Cette distribution de probabilité suit une loi de puissance. Parmi les autres exemples de



L'analyse de la photo d'un tricot subissant un étirement très faible de 0,1% permet de voir quelles mailles ont glissé au moment où la force d'étirement a vaincu les frottements. On observe clairement des mouvements d'ensemble.

crackling noise, on trouve le bruit du papier froissé, le bruit du crépitement d'un feu, le moment où une avalanche se déclenche, la production de pop-corn, etc. Tous ces phénomènes présentent le même profil statistique que les glissements de notre tricot.

SÉISMES, ROBOTS ET PULL-OVERS

Ainsi, l'étude des propriétés mécaniques du tricot a des liens surprenant avec des sujets très lointains comme la conception de matériaux pour des avions, la robotique et l'architecture ou comme l'étude statistique de phénomènes tels que les séismes. Il est particulièrement intéressant de retrouver une loi statistique universelle dans le tricot. Ce matériau permettra-t-il de mieux comprendre l'origine de cette universalité, voire d'offrir une façon simple de l'étudier en laboratoire (en tous cas bien plus accessible et contrôlable que les séismes) ? Lors des travaux que j'ai menés avec mes collègues, la façon dont nous avons modélisé le phénomène a été cruciale. Il a été nécessaire de simplifier le système (comme dans toute démarche de recherche). Mais si nous l'avions trop simplifié, nous aurions peut-être fait disparaître des aspects intéressants. Par exemple, si nous avions négligé le frottement, comme nous l'avions initialement envisagé, nous serions passés à côté du phénomène de crépitement.

L'étape suivante de nos recherches consistera à introduire davantage de complexité, pas à pas et de façon contrôlée, par exemple en jouant sur le type de maille (car il y a de nombreuses façons de tricoter ces mailles) ou sur les propriétés du fil. Et quand nous serons enfin parvenus à démêler toutes les subtilités du tricot, je serai peut-être en mesure de tricoter un beau pull pour ma grand-mère ! ■



© Reuters/Sylvain Cherkoui - Stock.adobe.com

Dans de nombreux pays tropicaux en développement, la majeure partie du poisson pêché est soit exportée pour la consommation, soit transformée localement pour produire de la farine de poisson, laquelle est ensuite exportée et utilisée pour nourrir les poissons d'élevage. C'est ce qui attend ces sardinelles dans une usine de Nouadhibou, le port principal de Mauritanie.