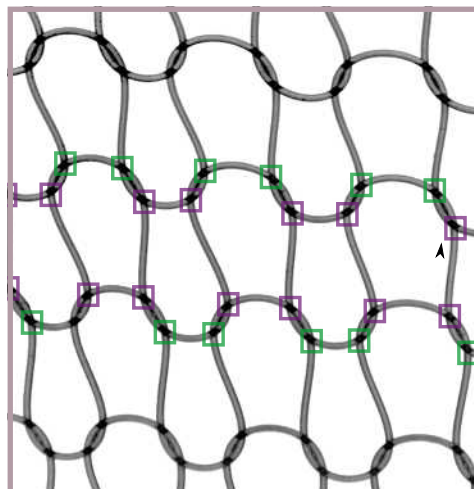
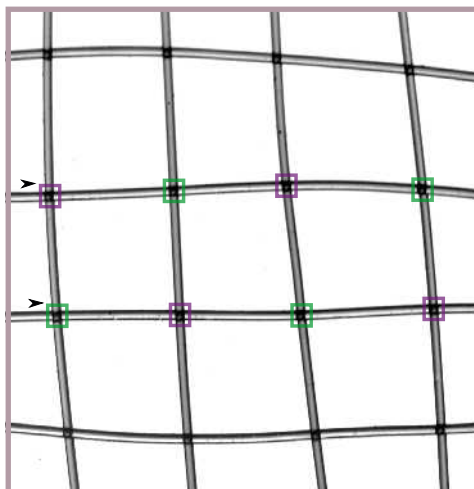


Les matériaux tissés et tricotés se comportent différemment à cause de la façon dont le fil y est arrangé. Dans le tissu (à gauche), les fils sont rectilignes et se croisent perpendiculairement en passant alternativement au-dessus ou au-dessous (carrés violets ou verts) d'un autre. Dans un tricot, il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

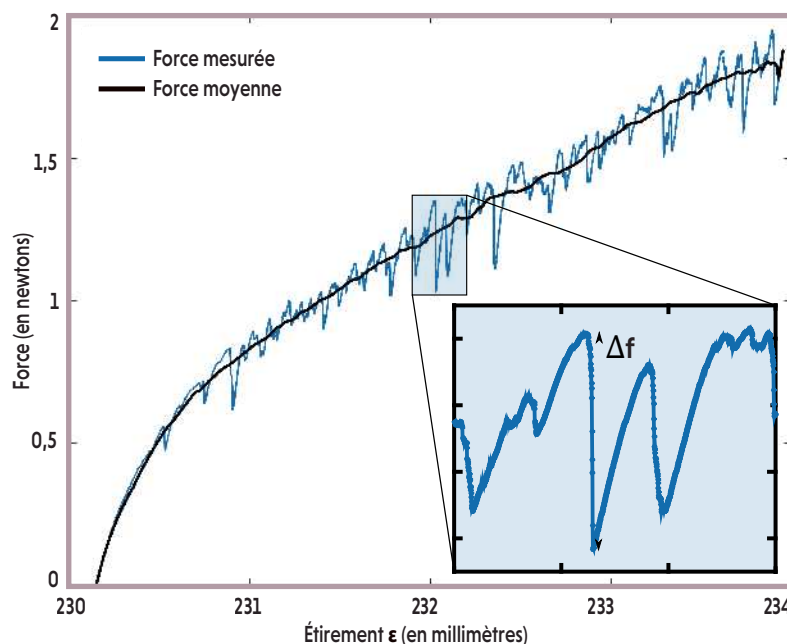
Pour résoudre le second obstacle, nous avons fait ce que font tous les physiciens : nous avons simplifié le problème autant que possible afin qu'il ne reste que les paramètres essentiels. Nous savions que ce qui définit un tricot est le réseau des points de croisement des fils, et nous avons commencé 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 avions 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

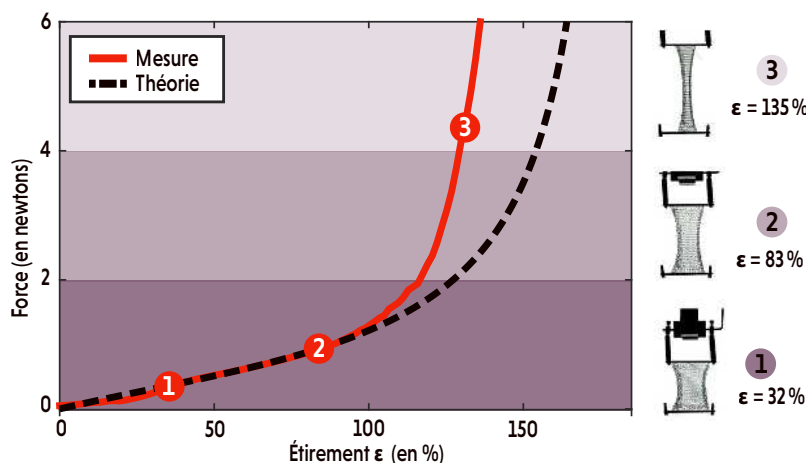
Afin d'évaluer la réponse mécanique de notre tricot, nous avons mesuré la force appliquée pour l'étirer, et nous avons pris des photos pour évaluer la déformation locale au niveau des mailles. Le résultat de la force à appliquer en fonction de l'étirement (voir la figure ci-contre, en haut) n'était pas 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.