

Les atouts des tricots à mailles cueillies comme renforts de matériaux composites expliqués à des élèves-ingénieurs en mécanique

B. CAMILLIERI et M.A. BUENO

École Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud-Alsace, Université de Haute Alsace, 11 rue Alfred Werner, 68093 Mulhouse cedex

Résumé

Les renforts tricotés sont peu utilisés dans les matériaux composites de structures du fait de différents inconvénients : faible taux de fibres, orientation complexe des fibres, modules d'Young, de cisaillement et force de rupture plus faibles que pour un renfort tissé. Néanmoins un renfort tricoté présente des atouts intéressants : résistance au délaminage, mise en forme aisée du fait de sa grande déformabilité et possibilité de réaliser directement des formes complexes sans assemblage (ex : calotte sphérique). Il est possible d'utiliser cette dernière spécificité avec des renforts tramés.

Abstract :

Knitted reinforcements are not much used for structural pieces in composite materials because they present some weaknesses: low fibre ratio, complex fibre orientation, low Young's and shear moduli and breaking strength in comparison with woven reinforcements. Nevertheless, a knitted reinforcement has some interesting advantages: interlaminar fracture toughness, easy shaping thanks to an important extensibility and then ability to directly manufacture 3D-multiaxial composite reinforcements.

Mots clefs : tricot, renfort, matériaux composites, ingénieurs

1 Contexte

Cet enseignement est destiné à des élèves ingénieurs mécaniciens en fin de cursus dans le cadre d'une unité d'enseignement de perfectionnement en matériaux composites : mise en oeuvre, caractérisation du renfort fibreux ... en adéquation avec la compétence mulhousienne en science des fibres.

Ces étudiants sont sensibilisés également aux autres techniques d'obtention des renforts et leurs caractéristiques mécaniques : tressage, tissage, mat.

Dans les pièces de structure, les renforts communément utilisés sont tissés, tressés ou déposés par enroulement filamentaire. Les renforts tricotés sont peu utilisés exceptés pour les multiaxiaux obtenus par maille jetée. Suivant le procédé de tricotage utilisés les renforts obtenus peuvent être très déformables ou quasi-indéformables.

L'objectif est de donner les bases du matériau tricoté aux étudiants afin qu'ils comprennent son comportement mécanique et son potentiel comme renfort. Les propriétés du matériau composite obtenu ne sont pas détaillées ici avec les étudiants car il fait l'objet d'un enseignement sur la mise en oeuvre et la caractérisation des matériaux composites.

2 Le matériau tricoté

Dans une première étape, le matériau tricoté de base est présenté aux étudiants. L'élève-ingénieur doit comprendre qu'il s'agit d'une structure dans laquelle le fil est contraint en flexion et soumis à des frottements aux points de contact entre les fils. Le matériau fibreux obtenu est élastique, hétérogène et anisotrope. Il est à ce stade très déformable et plus ou moins élastique du fait des frottements.

Des travaux pratiques sur machines rectilignes manuelles leur sont dispensés. Ils sont alors confrontés au procédé et caractérisent le matériau qu'ils ont réalisé.

Un tricot est une surface textile constituée de boucles ou mailles entrelacées les unes aux autres [1]. Il existe deux procédés de tricotage : la maille cueillie et la maille jetée, donnant respectivement des tricots trame et des tricots chaîne. Le sens de production est nommé sens colonne, alors que le sens travers correspond aux rangées. Les tricots à mailles cueillies sont obtenus au minimum avec un seul fil qui forme des mailles rangée après rangée et est donc totalement détricotable. Les tricots à maille jetées sont constitués de nappes de fils parallèles entre eux et ne peuvent donc pas être détricotés.

Les tricots en tant que renfort sont peu utilisés du fait de différentes faiblesses :

- la géométrie d'une maille donne une orientation des fibres assez complexe dans l'espace et un faible taux de fibres des composites (Fig. 1).
- Les propriétés mécaniques des matériaux composites obtenus à partir de renforts tricotés en particulier les modules d'Young, de cisaillement et la force de rupture sont plus faibles que lorsque le renfort est tissé [2,3].
- Les fibres utilisées dans les renforts structuraux (verre, carbone) sont peu résistantes aux grandes courbures ce qui entraîne des casses de fibres lors de la formation des boucles.

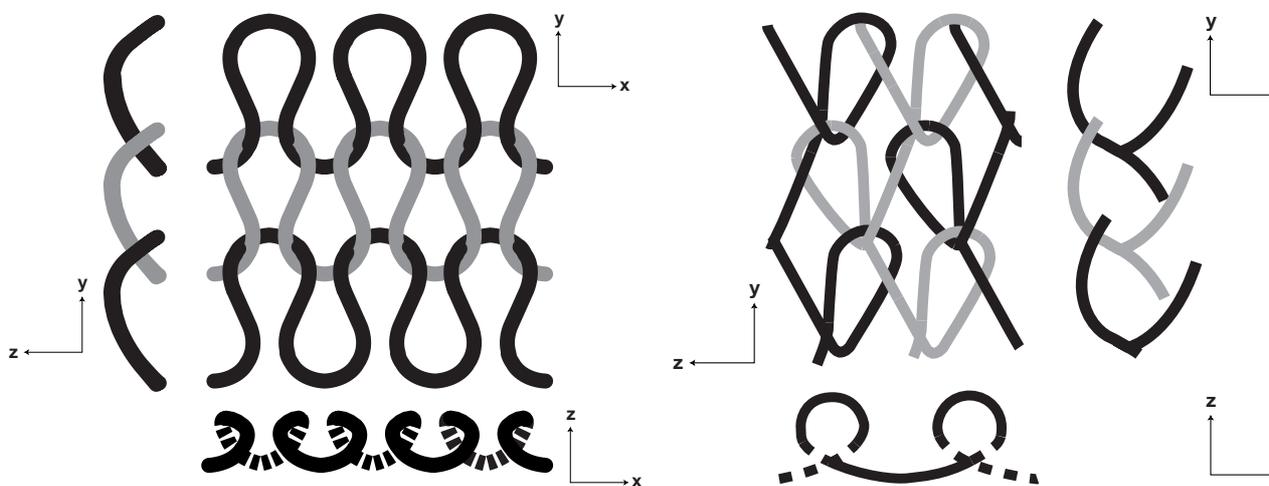


FIG. 1 – tricot à mailles cueillies ou tricot trame (à gauche) et tricots à mailles jetées ou tricot chaîne (à gauche).

Ces inconvénients majeurs font donc que le tricot est a priori un mauvais candidat au renforcement de composites structuraux.

Néanmoins, un renfort tricoté présente des atouts intéressants lorsqu'on le compare à un renfort tissé :

- résistance au délaminage du composite [4],
- résistance et absorption d'énergie [5] à l'impact du composite,

- mise en forme aisée du fait de sa grande déformabilité dans toutes les directions,
- possibilité de réaliser directement des formes complexes (coude, calotte sphérique, cône ...). Cette propriété n'est vraie que pour les tricots à mailles cueillies [6].

Du fait de ces propriétés, le tricot peut présenter un intérêt particulier pour un composite. Il est alors nécessaire de diminuer ses faiblesses ou de les contourner, pour ce faire différentes stratégies existent.

3 Le renfort tricoté plat

Les stratégies pour augmenter les caractéristiques du renfort tricoté sont présentées en commençant par modifier la maille pour lui donner une direction privilégiée. Les étapes suivantes consistent à insérer des fils droits aux propriétés intéressantes dans une ou plusieurs directions.

Pour augmenter le module d'Young du composite ainsi que sa force de rupture, il est possible d'avoir une orientation privilégiée des fibres dans les directions rangées et colonnes en adaptant la structure. Pour ce faire on augmente le nombre de flottés dans la structure [5] (Fig. 2). Le flotté est une portion de fil droite entre deux mailles.

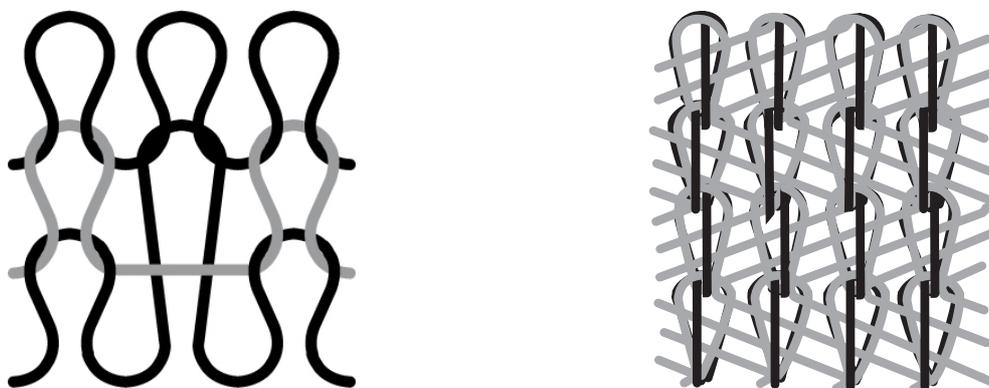


FIG. 2 – structures présentant des flottés dans les directions rangée et colonne en mailles cueillies (à gauche) et en mailles jetées (à droite).

On peut également insérer dans une direction des fils droits, des trames, formant ainsi de très long flottés donnant une grande rigidité à la structure dans la direction concernée (Fig. 3).

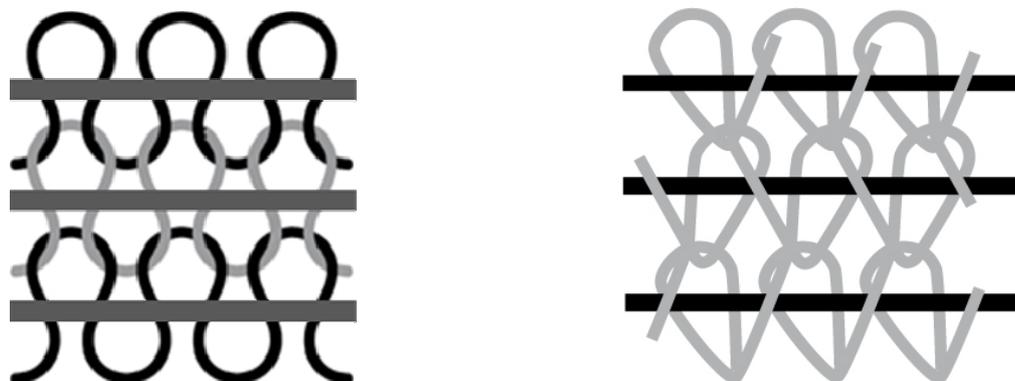
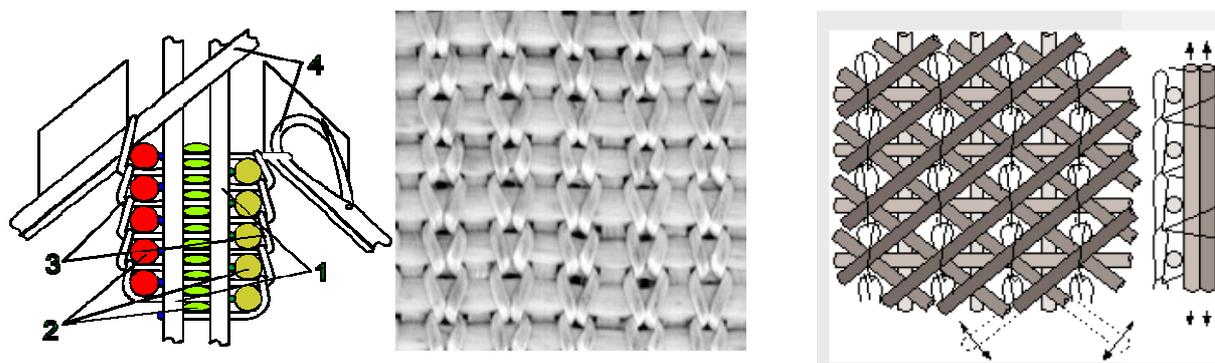


FIG. 3 – trame insérée dans la direction rangée dans un tricot à mailles cueillies (à gauche) et à mailles jetées (à droite).

Ces solutions ne permettent pas d'augmenter significativement le taux de fibres.

La solution qui permet de combiner augmentation des propriétés mécaniques et du taux de fibres consiste à superposer des nappes de fils unidirectionnels, le tricot a alors pour unique rôle d'assembler ces différentes nappes. Il s'agit alors de structures multiaxiales plus rigides qu'un tissu puisque l'allongement de la structure est nulle et ceci dans différentes directions (0° , 30° , 45° , 60° , 90° , -30° , -45° , -60°) (Figure 4). Cette technologie appliquée à la maille jetée est largement utilisée par exemple dans le secteur aéronautique depuis une trentaine d'années. En revanche, elle a été adaptée depuis peu à la maille cueillie [7].



a) 1 : nappes de fils dans le sens colonne, 2 : nappes de fils dans le sens rangée, 3 : mailles et 4 : aiguilles. b)

FIG. 4 – tricots multiaxiaux a) en mailles cueillies et b) à mailles jetées (à droite) [7].

Il est alors intéressant de prendre un fil résistant à la boucle pour assembler les nappes de fils et d'utiliser les fibres à haut module (verre, carbone) pour les nappes.

Les solutions ci-dessus permettent d'améliorer les propriétés mécaniques des tricots et d'égaliser voire de dépasser celles des tissus.

4 Le renfort tricoté 3D à mailles cueillies

Il est décrit aux étudiants **la particularité** propres aux tricots à mailles cueillies qu'aucun autre procédé industriel textile ne présente : la possibilité de réaliser des formes complexes [6,7].

A l'aide d'une machine à tricoter Jacquard classique à commande numérique associée à un système de CAO et FAO, des formes diverses développables ou non sont réalisables. Le renfort obtenu ne nécessite aucune découpe et aucun nappage.

Cette technologie est très ancienne et est utilisée pour la fabrication des bérets ou de certaines genouillères par exemples.

Les colonnes de mailles présentent un nombre de rangées adaptées à la forme désirée. Une publication scientifique [6] décrivant la méthode avec des exemples simples est distribuée aux étudiants. Ils sont ainsi confrontés au vocabulaire technique anglais en complément du vocabulaire fourni dans le cours.

Les étudiants voient alors l'intérêt évident de combiner le multi-axial avec le tricotage 3D. Ils sont alors confrontés à des procédés de pointe qui se situent à ce jour entre la recherche et l'industrialisation.

Pour information les machines utilisées sont des Jacquards modifiés, les précurseurs dans ce domaine sont les enseignants-chercheurs de TU Dresden (Allemagne).



FIG. 5 – tricots multi-axiaux en forme 3D [7].

Références

- [1] M.-A. Bueno, [Ch5 : Structure and mechanics of knitted fabrics] The Textile Institute and Woodhead Publishing Limited, Cambridge(2008).
- [2] E. Dixneuf, B. Lamy, and M.-A. Bueno, [Spécificités du comportement en flexion trois points de matériaux monolithiques et sandwichs à renforts tissés, non-tissés et tricotés] J. Lamon et D. Baptiste, Arcachon (France)(1998).
- [3] B. Gommers, I. Verpoest, and P. Van Houtte, “Analysis of knitted fabric reinforced composites: Part II. Stiffness and strength,” *Composites Part A*, 29A, 1579-1588 (1998).
- [4] B. Gommers, I. Verpoest, and P. Van Houtte, “Analysis of knitted fabric reinforced composites: Part I. Fibre orientation distribution,” *Composites Part A*, 29A, 1579-1588 (1998).
- [5] K. H. Leong, P. J. Falzon, M. K. Bannister *et al.*, “An investigation fo the mechanical performance of weft-knit milano-rib glass/epoxy composites,” *Composites Science and Technology*, 58, 239-251 (1998).
- [6] H. Hong, A. A. Filho, R. Fangueiro *et al.*, “The development of 3D shaped knitted fabrics for technical purposes on a flat knitting machine,” *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 19(3), 189-194 (1994).
- [7] H. Cebulla, O. Diestel, and G. Hoffmann, “Fully-fashioned biaxial weft knitted fabrics,” *AUTEX Research Journal*, 2(1), 6 pages (2002).