

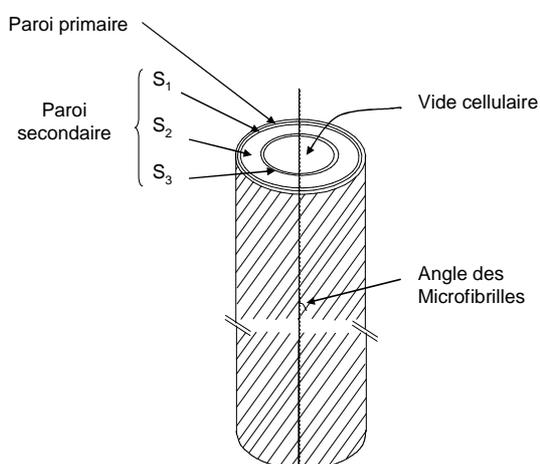
Influence de l'Angle des MicroFibrilles (AMF) sur le module d'élasticité longitudinal des fibres végétales – Approche numérique.

Frédérique Trivaudey et Vincent Placet

UMR CNRS 6174 - FEMTO-ST – Département Mécanique Appliquée, Université Franche-Comté, 24 rue de l'Épitaphe, F-25044 Besançon

Face à la crise énergétique actuelle et à la prise de conscience environnementale, les matériaux issus de la biomasse et en particulier les fibres végétales sont l'objet d'un intérêt grandissant et de bon nombre d'investigations. Les fibres végétales, ressources renouvelables, abondantes et bon marchés, présentent de nombreux atouts qui justifient leur utilisation dans la fabrication des composites : propriétés mécaniques spécifiques élevées, faible densité, biodégradabilité... Il apparaît clairement dans la littérature une très grande dispersion des propriétés mécaniques des fibres végétales. Effectivement, leur comportement macroscopique dépend étroitement de la morphologie, de l'organisation structurale, macromoléculaire et de la composition biochimique de la paroi cellulaire ainsi que des conditions hygrothermiques [1-4]. Rappelons que les fibres végétales sont des cellules allongées à faible diamètre, constituées d'une paroi renfermant un vide cellulaire (Fig. 1). La paroi cellulaire est composée de plusieurs couches plus ou moins concentriques constituées de microfibrilles de cellulose enroulées en hélice par rapport à l'axe de la cellule et noyées dans une matrice de polymères amorphes (hémicellulose et lignines). Cette organisation aboutit à un comportement mécanique complexe.

Différents auteurs ont mis en exergue un phénomène de rigidification de la fibre végétale sous l'application de sollicitations cycliques axiales, conduisant à une augmentation du module d'Young longitudinal d'un facteur 1,6 à 1,7 [4-7]. Ce phénomène de rigidification est attribué à des modifications et réarrangements moléculaires pouvant inclure une réorientation des microfibrilles de cellulose. Pour valider cette hypothèse, un dispositif expérimental permettant de mesurer l'angle des microfibrilles simultanément à l'application de sollicitations mécaniques alternatives est en cours de développement [8]. Ces mesures requièrent une mise en œuvre expérimentale non triviale. En parallèle à ce développement expérimental, un modèle analytique inspiré des modèles de tube composite stratifié à paroi mince a été développé afin de déterminer l'évolution du module d'élasticité longitudinal de la fibre en fonction de l'AMF.



$R_{\text{ext fibre}} = 5 \text{ à } 10 \mu\text{m}$	Couches			
	1 (I)	2 (II S ₁)	3 (II S ₂)	4 (II S ₃)
Épaisseur (μm)	0,1	0,15	1,5	0,03
AMF (°)	35	-70,+70	10	70

20°C / 12% Hr	Cellulose	Hémicellulose	Lignine
E_L (MPa)	134 000	7000	2000
E_T (MPa)	27 200	3500	-
G_{LT} (MPa)	4400	1750	760
ν_{LT}	0,1	0,2	0,3
Masse (%)	60	15	3

Figure 1 : a. Représentation schématique d'une fibre végétale unitaire b. Ordre de grandeur des caractéristiques géométriques de la fibre de chanvre, de la proportion massique et des propriétés mécaniques des constituants de la paroi cellulaire d'après la littérature [4,9, 10, 11]

Des hypothèses fortes sont faites dans cette modélisation. La fibre végétale est considérée comme une éprouvette tubulaire à section circulaire et paroi mince avec un diamètre et une épaisseur de paroi constants le long de la fibre. L'éprouvette est constituée de 4 couches différentes (1 pour la paroi primaire et 3 pour la paroi secondaire). Chaque couche est assimilée à un composite constitué d'une matrice amorphe isotrope poreuse et de microfibrilles de cellulose suivant au plus près les enroulements réels des microfibrilles dans les différentes couches. En considérant la fibre soumise à une sollicitation de traction, on peut mettre en évidence les modules reliant la contrainte de traction moyennée aux déformations longitudinale, circonférentielle et de cisaillement. L'ordre de grandeur du module

d'Young longitudinal est en accord avec les mesures effectuées expérimentalement pour des fibres unitaires de chanvre [7,8]. On constate également que le module longitudinal varie sensiblement avec l'orientation des microfibrilles dans la paroi secondaire. Les résultats mis en évidence par ce modèle permettent d'appuyer l'hypothèse probable de réorientation microfibrillaire.

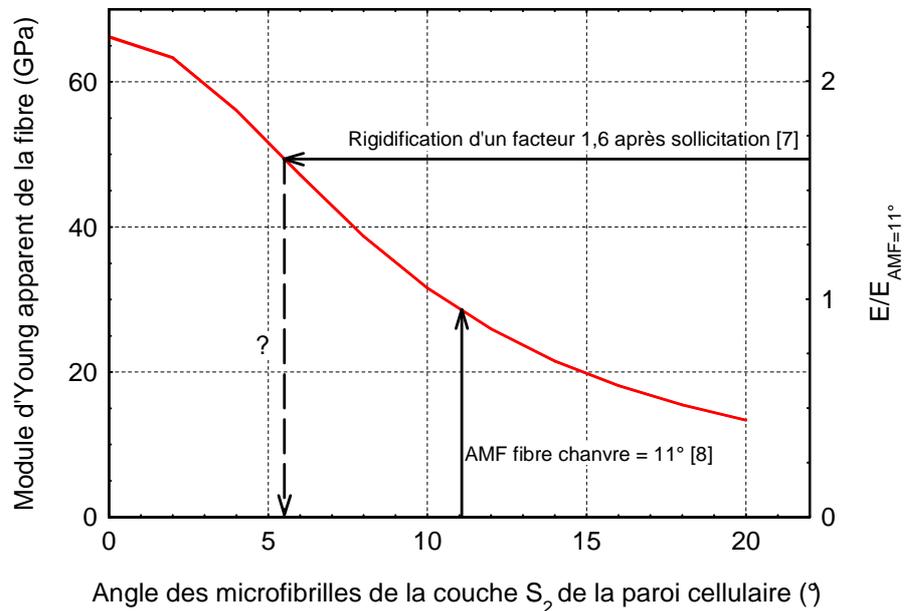


Figure 2 : Evolution du module d'élasticité longitudinal de la fibre calculé en fonction de l'AMF (diamètre fibre = 10 μm , proportion volumique des pores dans la matrice = 10%)

1. Y. Xue, Y. Du, S. Elder, K. Wang, J. Zhang, *Compos: Part B* 40(3), 189-196 (2008)
2. J. Gassan, A.K. Bledzki, *J Appl Polym Sci* 82(6), 1417-1422 (2001)
3. G.C. Davies, D.M. Bruce, *Text Res J.* 68(9), 623-629 (1998)
4. C. Baley, *Compos: Part A* 33, 939-948 (2002)
5. F.A. Silva, N. Chawla, R.D. Toledo Filho, *Comp Sci Tech* 68, 3438-2443 (2008)
6. F.A. Silva, N. Chawla, R.D. Toledo Filho, *Mater Sci Eng: A* 516(1-2), 90-95 (2009)
7. V. Placet, *Compos: Part A* 40, 1111-1118 (2009)
8. V. Placet, P. Perré, *Comportement mécaniques des fibres de chanvre-Etude expérimentale du phénomène d'accomodation sous sollicitations répétées. Colloque Composite chanvre – ENSMA Poitiers 18-19 mars 2010.*
9. J. Gassan, A. Chate, A.K. Bledzki, *J Mat Sci* 36, 3715-3720 (2001)
10. A. Bergander, L. Salmén, *Holzforschung* 54, 654-660 (2000)
11. K. Charlet, S. Eve, J.P. Jernot, M. Gomina, J. Breard, *Procedia Engineering* 1, 233-236 (2009)