

**Notions de matériaux composites pour
application en aéromodélisme**

Chapitre 01: Les Fibres

**V01 Nov 2017
Helmi TOUEL**

Sommaire :



Introduction

- **Le filament**
- **Le fil**
- **Les coeff mécaniques**
- **Annexes**

Introduction

- Il s'agit de se familiariser avec le monde de fibres de verre/ carbone.
- Les caractéristiques mécaniques sont très intéressants à connaître pour deviner qualitativement l'utilisation de chaque type.



Sommaire :

- Introduction

-  **Le filament**

- Le fil

- Les coeff mécaniques

- Annexes

Une fibre

REF DOC 1a, page 858/859

- Une *fibre* (fiber) est le terme générique qui désigne tout matériau filamenteux.
- Un *filament* (filament) est l'unité de base de tout renfort textile.
- Dans le cas du verre, les filaments sont obtenus par *filage* au travers d'une *filière*.
- Le diamètre courant d'un filament peut aller de 5 à 15 μm (10^{-6}m).

Sommaire :

- Introduction
- Le filament



Le fil

- Les coeff mécaniques
- Annexes

Les fils de renfort

REF DOC 1a, page 858/859

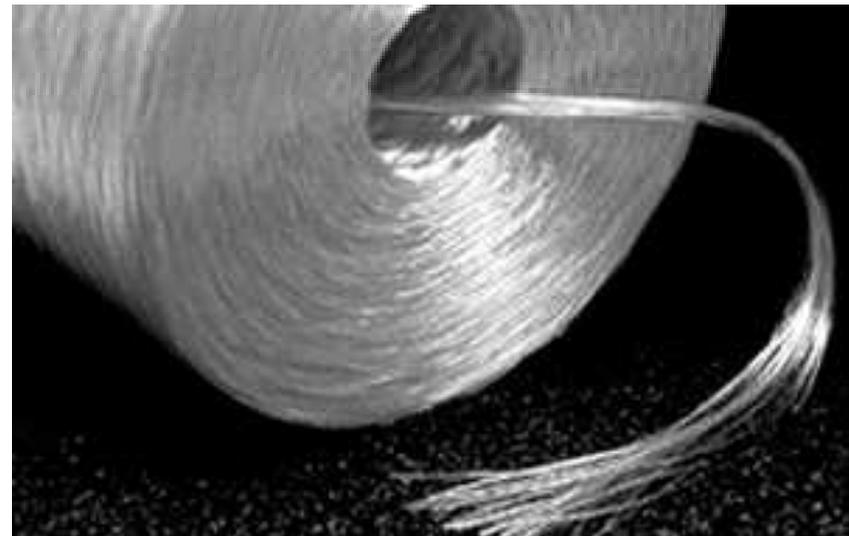
- Les filaments en sortie de filière peuvent être **ensimés*** et groupés pour former un **brin** (strand, end, sliver).
- Un type particulier de brin est le *silionne* (split strand) qui est un groupement de 102, 204 ou 408 filaments.
- Plusieurs brins peuvent ensuite être assemblés
 - sans torsion, pour former un **roving** ou une **mèche** (roving, tow)
 - ou en les torsadant légèrement, pour former un **fil à fin de tissage** (yarn).

(*): pour l'ensimage, voir annexes

Le fil

REF DOC 1a, page 858/859

- En règle générale, un roving comporte plus de brins qu'un fil et conduit à des tissus plus grossiers.
- De plus, bien que théoriquement non torsadés, les filaments d'un roving subissent toujours une certaine torsion et s'entrecroisent.



Pour info: le nombre de filaments dans chaque fil s'exprime avec une valeur donnée en millier de filaments (K) : 1K, 3K, 6K, 12K, 24K,

Le fil

REF DOC 1a, page 858/859

- Leur résistance mécanique en est diminuée, pour ne retenir le plus souvent que **50 %** de leur valeur initiale.
- Un *monofilament* (monofilament) est un filament suffisamment souple et résistant pour pouvoir directement être tissé.
- Le *titre* (linear density) d'un fil ou d'un roving indique sa masse par unité de longueur.

Le « titre » d'un fil

REF DOC 1b: page 16

- Deux types de "titre" peuvent être calculés:
 - le titre conditionné : sa détermination se fait par la mesure de la masse et de la longueur d'un fil dans l'atmosphère de conditionnement des textiles.
 - Le titre déshydraté: il est déterminé par la pesée d'un fil de longueur donnée après dessiccation de celui-ci à l'étuve dans des conditions spécifiées [NFG04].
- Le système d'unité utilisé est le « tex » et l'équation qui fournit la valeur de la masse linéique d'un fil est la suivante:

$$\text{Titre} = \frac{M(g)}{L(m)} \times 1000$$

Où, M est la masse du fil exprimée en gramme et L est la longueur du fil exprimée en mètre.

Unité de mesure du fil : 1 TEX = 1 gramme par kilomètre de fil.

Sommaire :

- Introduction
- Le filament
- Le fil

Les coeff mécaniques

- Annexes

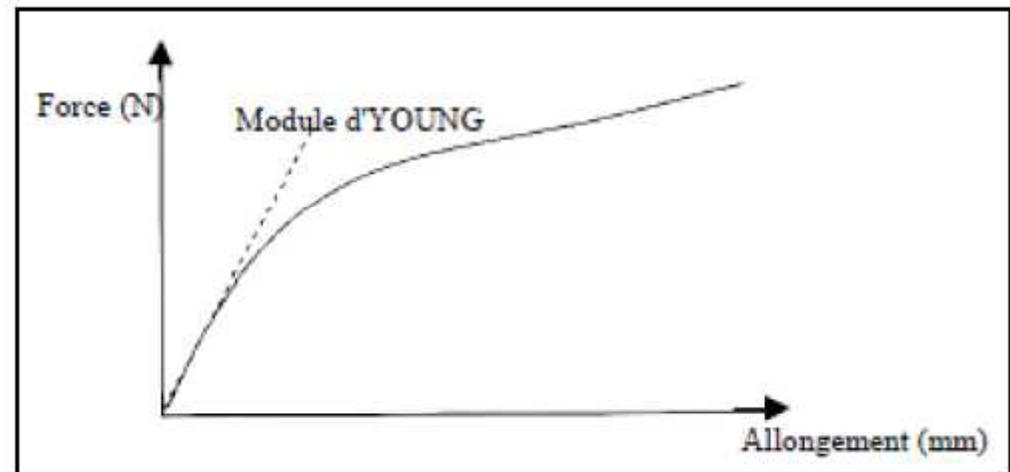
Essai de traction sur fil [NFG03]

REF DOC 1b pages 16/17

- Cet essai est utilisé pour déterminer la force et l'allongement des fils soumis à une traction jusqu'à la rupture.

- La courbe contient plus d'informations que juste la résistance à la traction de l'échantillon. Les principales caractéristiques qu'on peut dégager de la courbe force-allongement sont:

A- **La limite élastique** «yield point»: la courbe contient souvent un point de diminution de pente. Ce point est la "limite d'élasticité ou limite élastique".



Module d'Young

B- **Le module d'élasticité**: La pente de la première partie linéaire de la courbe jusqu'à la limite élastique est connue comme le module initial (**module d'Young**). Il existe un nombre de modules possibles qui peuvent être mesurés.

Valeurs typiques (fils)

REF DOC 1a: page 859

Propriétés de quelques fibres inorganiques

Properties of various inorganic fibers

Fibres	ρ (g/cm ³)	E_L (GPa)	E_T (GPa)	σ_{rL} (MPa)	σ_{rT} (MPa)	ϵ_{rL} (%)
Carbone HM	1,81	392		2700		0,7
Carbone HT	1,81	230	6	3500	2730	1,5
Carbure de silicium	2,55	200	26,5	2900	6730	1,5
Verre E (standard)	2,60	73	68	2500	2730	3,5
Verre R (haute résistance mécanique)	2,53	86		3300		3,3

Avec :

ρ masse volumique

E module

σ_r contrainte de rupture

ϵ_r allongement à la rupture

α coefficient de dilatation t
et T réfèrent aux direc
transverse à la fibre respec

Valeurs typiques (fils)

REF DOC 1c, page 3

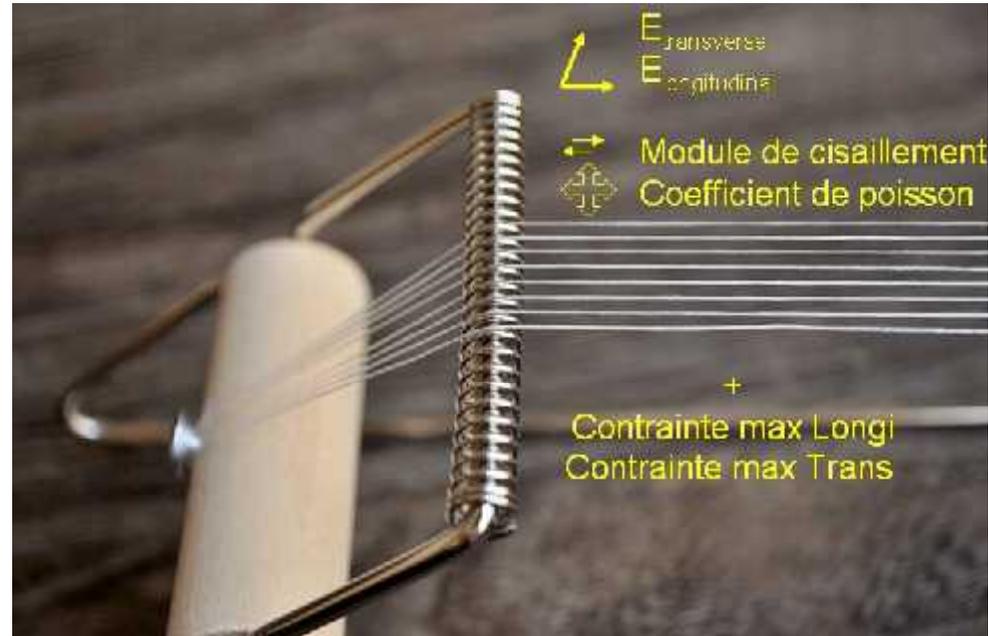
Renforts	Diamètre du filament (µm)	Masse volumique (kg.m ⁻³)	Module d'élasticité longitudinal (Mpa)	Module de cisaillement (Mpa)	Coefficient de Poisson	Contrainte de rupture (traction) MPa	Allongement à rupture %	Coefficient de dilatation thermique °C ⁻¹
	d	?	E	G	?	s _r	A	a
Verre E	16	2 600	74 000	30 000	0.25	2 500	3.5	0.5*10 ⁻⁵
Verre R	10	2 500	86 000		0.2	3 200	4	0.3*10 ⁻⁵
Carbone HM	6.5	1 800	390 000	20 000	0.35	2 500	0.6	0.08*10 ⁻⁵
Carbone HR	7	1 750	230 000	50 000	0.3	3 200	1.3	0.02*10 ⁻⁵
Kevlar 49	12	1 450	130 000	12 000	0.4	2 900	2.3	-0.2*10 ⁻⁵

Interprétation

- Commentaire: Si on compare fibre de verre E et carbone HT, on a la même contrainte max, mais deux modules d'Young très différents.
- La fibre de carbone est « moins » souple.
- Mais on voit bien que le carbone est plus léger avec une nette différence entre E_l et E_t .
- Donc à retenir:
 - La fibre de verre est d'une rigidité limitée, mais accepte de fortes déformations.
 - La fibre de carbone est d'une rigidité supérieure, mais ne supporte que de faibles déformations.

Récap

- Pour un fil en fibre de verre E (usuelle), on peut dire que c'est un matériau « assez » homogène:
 - Les coeff Long et Trans sont proches.
 - Coeff poisson de 0.25)



- On peut retenir:
 - En longitudinal: $E=73\text{GPa}$ et Contrainte max de 2.5GPa ,
 - En transversal: $E=68\text{GPa}$ et contrainte max de 2.73GPa
 - coeff de cisaillement est de 30Gpa
 - Allongement à la rupture: 3.5%

A titre indicatif:

- On prendra R_e (limite élastique) comme notre Contrainte maximum tout au long de ces diapositifs.

Matière	Nuance	R_e (MPa)
Bois lamellé-collé	GL24 à GL32	24 à 32
Alliage d'aluminium	Série 1000 à Série 7000	90 à 440
Acier de construction usuel non allié	S235 à S355	235 à 355
Acier au carbone trempé	XC 30 (C30)	350 à 400
Acier faiblement allié trempé	30 Cr Ni Mo 16 (30 CND 8)	700 à 1 450
Alliage de Titane	TA 6V	1 200
Fibre de verre	"E", Courant / « R »	2 500 3 200
Fibre de carbone	"HM", haut module de Young	2 500 / 3200 HR", haute résistance

Sommaire :

- Introduction
- Le filament
- Le fil
- Les coeff mécaniques

 **Annexes**

Verre E vs Verre R

- Voici une petite comparaison entre les deux types de fibres:

Fibre	Densité	Charge de rupture en traction (en Mpa)	Charge de rupture en compression (en Mpa)	Allongement à la rupture (en %)	Module d'élasticité longitudinal (en Mpa)	Diamètre du filament élémentaire (en mm)	Prix estimatif (en €/K)
Verre E	2,54	3400	1200	4,8	73000	3-30	2
Verre R	2,48	4400	1300	5,4	86000	3-30	10

REF:

http://training.pluscomposites.eu/sites/default/files/courses/Part1French/co/module_CompositesGreta_10.html

Références

- **DOC A:** CALCUL DES PROPRIÉTÉS ÉLASTIQUES DES TISSUS UTILISÉS DANS LES MATÉRIAUX COMPOSITES, F. DAL MASO et J. MÉZIÈRE, REVUE DE L'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE VOL. 53, N° 6, NOVEMBRE-DÉCEMBRE 1998, Institut français du pétrole1
- **DOC B:** Thèse Essais de Caractérisation des Structures Tissées , Samia DRIDI 28/06/2010, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon,
- **DOC C:** GLOSSAIRE DES MATERIAUX COMPOSITES, Actualisation décembre 2004, CENTRE D'ANIMATION REGIONAL EN MATERIAUX AVANCES
- **DOC D:** HandBookOfComposite, https://books.google.tn/books?id=ct_vBwAAQBAJ&pg=PA144&lpg=PA144&dq=yarn+ecd450+1/2&source=bl&ots=nK3MOhEgKa&sig=kXm1DnA3cH2juFvZNhi2vMYHQxw&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjMtKCO6YjXAhXpA8AKHT-fD5MQ6AEIRTAI#v=onepage&q=yarn%20ecd450%201%2F2&f=false
- **DOC E:** <https://fr.scribd.com/document/360465288/Chapitre-4-Characterisation-Des-Materiaux-Composites>
- **DOC F :**Modélisation du comportement des composites :l'élasticité anisotrope, Edité le 04/05/2011, Federica DAGHIA – Lionel GENDRE
- **DOC G:** UD Mictomecghnanics, university of twente, Department of Mechanical Engineering, Composites Group.
- **DOC H:** cours christian BOUILLE, chez Sabena Technics Mir,
- **DOC I:** modelisation-du-comportement-des-composites2-3-les-poutres-stratifiees-ens, Federica DAGHIA – Lionel GENDRE

- **Software U20MM:** <https://www.utwente.nl/en/et/ms3/research-chairs/pt/research/research-themes/tools/#u20mm>