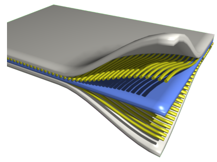

Examen de Mécanique des Composites

Département Thermique-Energétique, option CTMF

15 Décembre 2020 - Nb de pages **3** - *documents autorisés: tous*

---

1 Questions de cours (8 pts)

1. Citez 4 paramètres clef qui gouvernent le comportement des composites renforcés par des fibres ? /**1**
2. Pourquoi le renforcement par des fibres courtes est-il moins efficace que par des fibres continues ? /**1**
3. Comment est introduit le tenseur d'élasticité d'ordre 4 quand on décrit la loi de comportement générale d'un matéirau élastique ? /**1**
4. Définir un matériau monoclinique ? /**1**
5. Combien de constantes sont nécessaire pour définir un comportement élastique orthotrope ? Même question dans le cas d'une plaque en contraintes planes. /**2**
6. Comment est-il possible d'obtenir un comportment quasi-isotrope pour une plaque faite de plis unidirectionnels ? /**1**
7. Quel est le critère de rupture le plus couramment utilisé pour les plaques composites ? Donner une forme de ce critère. /**1**

2 Exercice (12pts)

2.1 Flexion 3 points

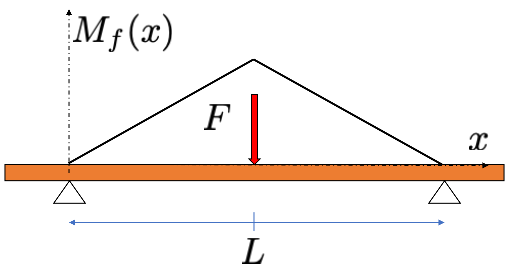

FIGURE 1 – Principe de la flexion 3 points et évolution du moment de flexion.

Le problème de la flexion 3 points vous est rappelé en figure 2.1. Il s'agit d'un essai de caractérisation classique pour les composites. Selon la résistance des matériaux, le moment de flexion M_f y suit une évolution linéaire entre les appuis et le point d'application de la force F, au milieu des deux appuis. Il atteint sa valeur maximale $FL/2$ au centre, où L désigne la distance entre les deux appuis. On y insère une éprouvette de longueur L_e=200mm>L=120mm, de largeur b=20mm et d'épaisseur h=3.25mm.

1. De par la symétrie du problème, le déplacement vertical v de la poutre doit aussi être symétrique par rapport au centre de l'éprouvette. Donnez les 2 conditions aux limites permettant de ne résoudre le problème que sur la partie gauche.
2. En utilisant la loi de comportement intégrée des poutres

$$M_f = EI\frac{d^2v}{dx^2}, \tag{1}$$

retrouver la relation suivante entre la force et le déplacement :

$$d = \frac{FL^3}{48EI} \tag{2}$$

où I, le moment quadratique de la section droite, vaut ici $bh^3/12$

3. On effectue deux essais de flexion 3 points (voir figure 2.1) sur des éprouvettes taillées dans une même plaque constituée de 12 plis unidirectionnels (épaisseur totale h), l'un dans le sens des fibres, l'autre dans le sens perpendiculaire. A partir des courbes et de la relation (2), déterminer les modules d'élasticité de ce composite UD dans les sens longitudinal et transverse respectivement.
4. Une éprouvette faite d'un empilement symétrique de 12 couches de ce matériau, de type [0/90/0/90/0/90/90/0/90/0/90/0], est maintenant inséré dans le système de flexion 3 points et soumis à une force $F = 400$N. Ses dimensions sont exactement celles données précédemment et les fibres à 0° sont selon l'axe x. On prendra pour paramètres matériau additionnels $\nu_{LT} = 0.2$ et $G_{LT} = 5$GPa.
   — Calculer le moment de flexion maximal auquel est soumise l'éprouvette. En déduire le moment intégré M_{xx} imposé au centre de l'éprouvette.
   — Calculer les matrices de comportement $[Q^0]$ et $[Q^{90}]$.
   — Calculer la matrice de raideur intégrée de flexion $[D]$.
   — En déduire la courbure maximale γ_{xx} au centre de l'éprouvette.
   — En assimilant γ_{xx} à $-\frac{d^2v}{dx^2}$ dans l'équation (1), calculer le module d'élasticité apparent de la plaque E_x sollicitée dans cette direction.
   — Que pouvez-vous dire du module qu'on mesurerait en sollicitant une éprouvette découpée dans la direction perpendiculaire ?

2.2 Thermo-élasticité

On considère à présent une nouvelle éprouvette, toujours de mêmes dimensions que précédemment, mais avec cette fois l'empilement suivant [0/0/90/90/0/0/90/90/0/0/90/90]. On mesure grâce à un dilatomètre les coefficients de dilatation de ce matériau (sur de l'UD pur) dans les deux directions. On obtient ainsi

$$\alpha_L = 10,5 10^{-6}K^{-1} \qquad ; \qquad \alpha_T = 43,3 10^{-6}K^{-1}$$

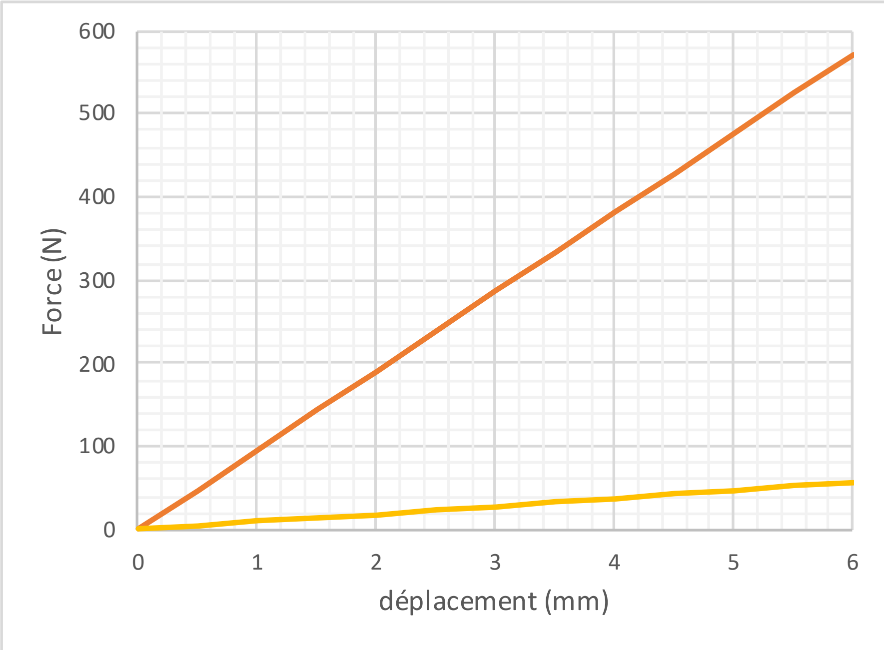

FIGURE 2 – Courbes force déplacement d'une flexion 3 points sur un UD dans deux directions différentes.

L'éprouvette, encastrée à une extrémité, libre de l'autre, subit une élévation de température de 135°C et on mesure le déplacement de son extrémité, située à une distance L_u de l'encastrement (cf Fig. 2.2).

1. Cette plaque composite présente-t-elle un couplage traction-flexion ?
2. Décrire qualitativement la déformée que va prendre l'éprouvette suite sous l'effet de l'élévation de température.
3. En négligeant les effets du possible couplage traction-flexion, calculer la nouvelle matrice $[D]$, les moments intégrés d'origine thermique, puis les courbures.
4. En déduire le déplacement vertical de l'extrémité libre.

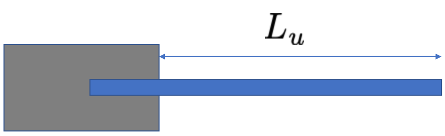

FIGURE 3 – Chauffage d'une éprouvette encastrée d'un côté.