

# EXAMEN DE MÉCANIQUE DES COMPOSITES

Département Thermique-Energétique-Mécanique, option CTMF

17 novembre 2021 - Nb of pages **2** - *Tous documents autorisés*

---

## 1 Questions courtes (4 pts)

1. Pourquoi l'allongement à rupture  $A_c$  d'un composite unidirectionnel dans le sens des fibres est-il égal l'allongement à rupture des fibres  $A_f$  ? /1
2. Rappeler les hypothèses cinématique de Kircchoff-Love. /1
3. Quels sont les constantes d'élasticité pour un matériau orthotrope ? /1
4. Comment peut-on obtenir un comportement quasi-isotope pour un stratifié fait de couches UD identiques ? /1

## 2 Choix de matériaux (6 pts)

Un composite est constitué de fibres parallèles (module d'Young  $E_f$ ) incluses dans une matrice de module d'Young  $E_m$ . Soit  $V_f$  la fraction volumique de fibres. Exprimer le module d'Young du composite suivant la direction des fibres  $E_c$ , en fonction de  $E_f$ ,  $E_m$  et  $V_f$ . Donner également une expression de la masse volumique (ou densité)  $\rho_c$  du composite.

En utilisant les paramètres matériau donnés dans le tableau ci-dessous, évaluer  $\rho_c$  et  $E_c$  pour les composites suivants : (a) fibres de carbone/résine époxy ( $V_f=0,5$ ) ; (b) fibres de verre/résine polyester ( $V_f=0,5$ ) ; (c) acier/béton ( $V_f=0,02$ ).

Matériaux	Densité (Mg/m <sup>3</sup> )	Module d'Young (GPa)
Fibre de carbone	1,90	390
Fibre de verre	2,55	72
Résine époxy	1,15	3
Résine polyester	1,15	3
Acier	7,90	210
Béton	2,40	45

FIGURE 1 – Propriétés de matériaux constitutifs de composites.

Discuter le potentiel de ces trois composites pour la réalisation de structures mobiles ou portables.

## 3 Plaque composite en flexion (10 pts)

On considère une plaque stratifiée de longueur  $L = 30\text{cm}$  et de largeur 5cm, constituée de couches d'UD d'épaisseur  $e = 0.25\text{mm}$ , et dont les propriétés mécaniques sont  $E_L = 150 \text{ GPa}$  ;

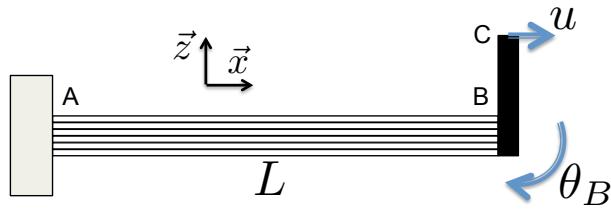
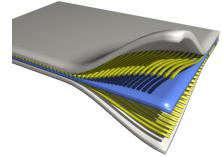


FIGURE 2 – Stratifié soumis à une rotation à son extrémité.

$E_T = 20 \text{ GPa}$ ;  $G_{LT} = 7 \text{ GPa}$ ;  $\nu_{LT} = 0.25$ . L'empilement des couches est le suivant ( $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ).

Elle est encastrée en  $A$ , et liée en  $B$  à une plaque indéformable de hauteur  $H = BC$  à laquelle on impose un déplacement  $u$  au point  $C$ . En  $B$ , ce chargement se traduit essentiellement par une rotation  $\theta_B$  de l'extrémité droite.

1. Dans le cadre de déplacements et rotations faibles et en négligeant l'allongement de la plaque selon  $\vec{x}$ , montrer que l'on a  $\theta_B = \frac{u}{H}$ . /0.5
2. Par analogie avec les poutres, justifier qu'on peut considérer la courbure  $\gamma_x$  constante. On prendra par la suite  $\gamma_x = \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\theta_B}{L}$ . /0.5
3. Déterminer les matrices de raideur  $[Q^k]$  de chaque couche. /2
4. En déterminant les matrices de rigidité intégrées nécessaires, calculer alors le vecteur moment intégré  $\{M\}$ . On prendra  $H = 5 \text{ cm}$  et  $u = 5 \text{ mm}$ . Commentez ce résultat. /3
5. Si maintenant un moment selon  $\vec{y}$  était imposé en  $B$  au lieu de la rotation, donnez qualitativement la forme que prendrait cette plaque. /1
6. En utilisation l'hypothèse cinématique de Kirchhoff-Love, calculer la contrainte maximale dans le stratifiée. /2
7. Proposer une solution simple qui améliorerait nettement la rigidité de flexion de cette plaque pour cette configuration de chargement. /1