

TD1 Composites

1°/ Exprimer l'épaisseur h du pli

a/ en fonction de m_{of} (masse de renfort par mètre carré), V_f et ρ_f

b/ en fonction du grammage, des masses volumiques de fibre et de matrice et de la fraction volumique du renfort.

c/ Calculer, dans le cas du composite verre-époxy, le grammage pour 6 valeurs de V_f comprises entre 0 et 1, et pour des épaisseurs de pli égales à 0,1 puis 0,2 mm.

2°/ Concevoir deux arrangements périodiques de fibres dans un composite, et calculer pour quel type d'arrangement il est possible d'obtenir la fraction maximale de fibres.

3°/ Calculer le coefficient d'expansion thermique des composites Al/Al₂O₃ et époxyde/verre pour, au minimum, 6 valeurs de V_f dans le sens long et dans le sens travers d'un composite UD. On prendra $V_f = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$.

	E (GPa)	α ($10^{-6} K^{-1}$)	masse volumique g/cm ³	ν
Al	75	22	2,8	0,25
Al ₂ O ₃	380	8	3,97	0,3
Résine époxyde	4,5	110	1,2	0,4
Verre	86	3	2,5	0,25
Carbone	280 (E _l) 15 (E _t)		1,53	0,3 à 0,35
Kevlar	130 (E _l) 5,4 (E _t)		1,45	0,4

4°/

Matériau	Re (MPa)	E (GPa)	Rm (MPa)
Acier	205	205	600
Al	150	75	
Al ₂ O ₃	3040	380	3500
Verre E	2590	74	
Kevlar	2990	130	
CSi	2800	200	
Epoxyde	135	4,5	140

a) En déduire la déformation sous charge au moment où l'on atteint la limite élastique, dans les différents cas. Puis, schématiser, sur un même graphe, les courbes contrainte-déformation.

b) Maintenant, on considère les déformations et contraintes associées à un essai de flexion. Schématiser, pour un matériau monocouche, l'allure de ces grandeurs dans l'épaisseur du matériau.

Faire de même pour un matériau stratifié, composé d'une âme ductile et d'une peau dure de chaque côté de l'âme.

D'où vient la différence ?

Faire une application numérique avec certaines des données dont vous disposez.

Quel peut être l'avantage d'un tel système ? Donner des exemples d'application.

5°

	E (GPa)	Calculer le module d'élasticité des composites Al/Al ₂ O ₃ , époxyde/verre et époxyde/carbone pour 6 valeurs de V _f dans le sens long, puis dans le sens travers, d'un composite UD. Tracer aussi E _z = f(θ) pour le composite epoxyde-verre à 40% de verre et en prenant G _{xy} = 30 GPa et ν _{xy} = 0,25. $E_z = \frac{1}{\frac{c^4}{E_x} + \frac{s^4}{E_y} + 2cs^2 \left(\frac{1}{2G_{xy}} - \frac{\nu_{xy}}{E_x} \right)}$ avec c = cos θ et s = sin θ.
Al	75	
Al ₂ O ₃	380	
Résine époxyde	4,5	
Verre	86	
Carbone	280 (E _l) 15 (E _t)	
Kevlar	130 (E _l) 5,4 (E _t)	

6°/ Dans l'automobile les tôles en acier sont localement revêtues de produits organiques. Lors du refroidissement qui suit la cuisson vers 190°C de l'assemblage, des déformations liées au retrait thermique apparaissent entraînant des défauts de surface (courbure locale du système). Calculer la déformation, la contrainte dans l'acier et dans la colle à l'interface acier-colle, puis déterminer le sens de courbure de l'assemblage.

En utilisant la formule de Stoney (valable dans le cas d'un système élastique substrat + film mince subissant des contraintes biaxiales isotropes) :

$$\sigma_f = \frac{E_s}{1 - \nu_s} \frac{e_s^3}{6 e_f (e_f + e_s)} \frac{8 f}{L^2}$$

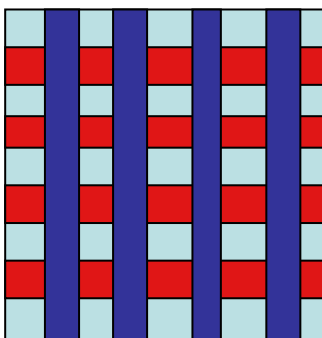
Calculer la flèche f en conclure sur l'application de cette formule dans ce cas.

Données : E_{acier} = 210 GPa, ν_{acier} = 0,297, e_{acier} = 0,7 mm et α_{acier} = 12,5 10⁻⁶ K⁻¹,
 L = 50 mm (taille de la bande de colle dans les essais), E_{colle} = 3 GPa, ν_{colle} = 0,35,
 e_{colle} = 2 mm, T < T_g : α_{colle} = 21 10⁻⁶ K⁻¹ et T > T_g : α_{colle} = 150 10⁻⁶ K⁻¹, T_g = 42 °C.

7° On se propose de réaliser une suspension automobile à roues indépendantes pour un véhicule de masse par roue de 345 kilogrammes. La suspension est constituée d'une lame en matériau composite assimilable à une poutre non encastrée sollicitée en flexion trois points. La distance entre appuis est de 500 mm, la largeur de la lame est de 100 mm et son épaisseur de 12,5 mm. L'affaissement statique hors charge maximum toléré de la suspension est de 1 cm. Choisir un matériau adapté pour la réalisation de cette lame (se reporter aux données de 4° et 5°).

Rappels : I = b.h³/12 et E = P L³/48 I f, f étant la flèche.

8°/ Estimez les modules d'Young transverse et longitudinal d'un tissu composite constitué d'un enchevêtrement de fibres de carbone à 0° et de fibres de kevlar à 90° dans une matrice époxy. La fraction volumique de chaque fibre est de 35%.



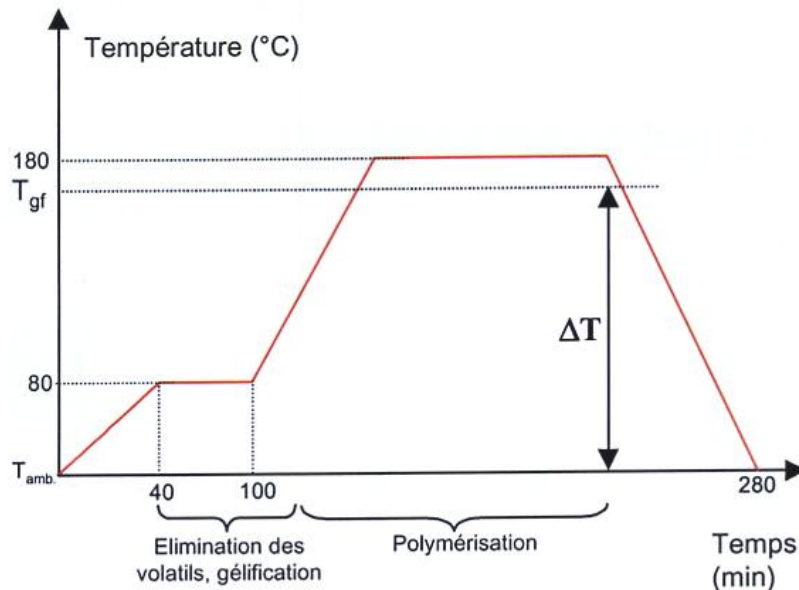
TD2 Composites

9° Ci-jointes plusieurs micrographies. Indiquer si elles correspondent à des matériaux que l'on peut qualifier de composites. Pour autant, commenter les possibilités de renforcement des propriétés mécaniques dans les matériaux qui ne sont pas qualifiés de composites.

Dans le cas de la 1^{ère} micrographie, estimez rapidement V_f .

Dans le cas de l'acier eutectoïde, peut-on faire varier les proportions relatives de ferrite et de Fe_3C (c'est-à-dire l'équivalent de V_f) ?

10°/ Un composite UD époxy-verre subit un cycle de polymérisation indiqué ci-dessous :



Calculer les contraintes résiduelles dans les fibres en fin de traitement.

Données : $E_{\text{époxyde}} = 3,5 \text{ GPa}$, $E_{\text{verre}} = 45 \text{ GPa}$,

$T > T_g : \alpha_{\text{époxyde}} = 150 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $T < T_g : \alpha_{\text{époxyde}} = 21 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $T_g = 170 \text{ °C}$.
 $T_{\text{ambiante}} = 20 \text{ °C}$

11) On considère le comportement à rupture d'un composite UD sollicité longitudinalement, dans le cas où $\epsilon_{rf} > \epsilon_{rm}$.

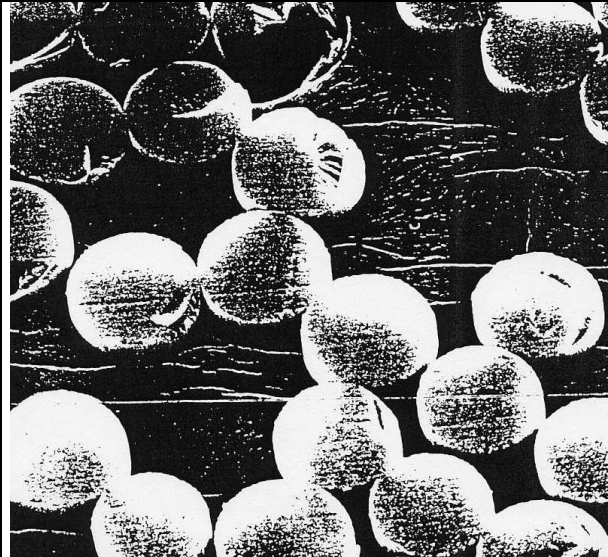
A quel type de composite correspond ce cas ? Donner un exemple.

Sur une courbe contrainte-déformation, schématiser le comportement de chacun des composants.

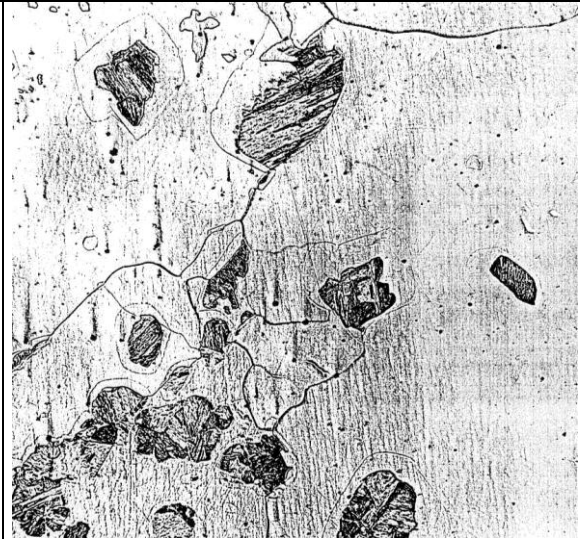
En vous appuyant sur les données du cours, rappeler les deux types de comportement possible de variation de σ_f en fonction de V_f , et calculer la valeur de $V_{f \text{ trans}}$, pour laquelle un composite carbone/carbone passera d'une rupture entraînée par la rupture de la matrice à une rupture contrôlée par la rupture des fibres.

Données : matrice de carbone amorphe : $\sigma_{rf} = 500 \text{ MPa}$ et contrainte à rupture des fibres de carbone = 3200 MPa

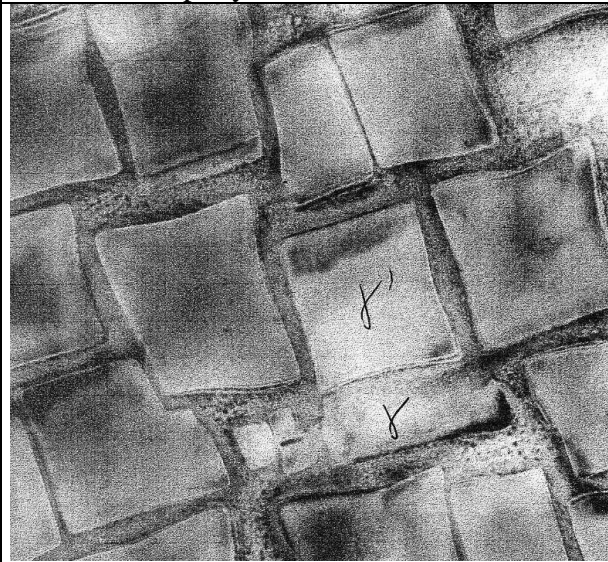
Micrographies de l'exo 9



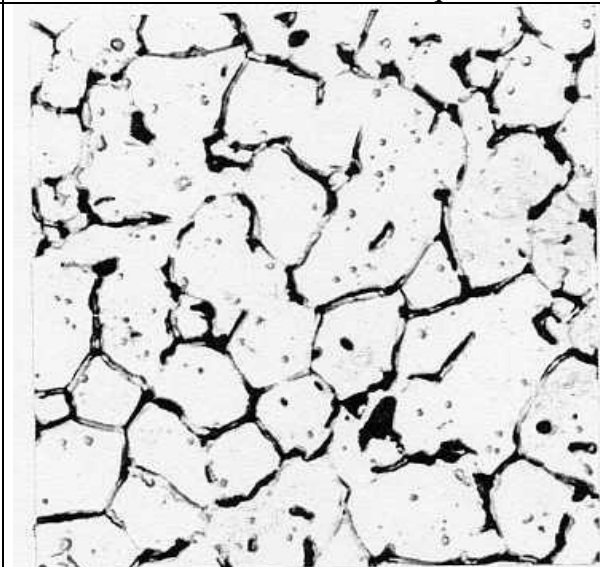
Epoxy et fibres de verre



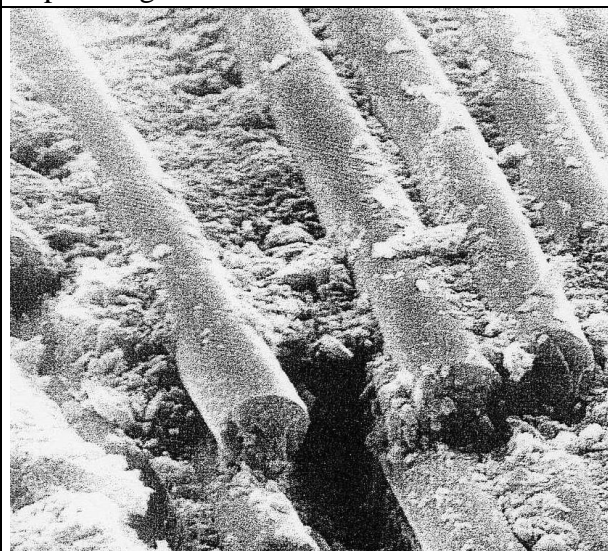
Acier austéno-ferritique



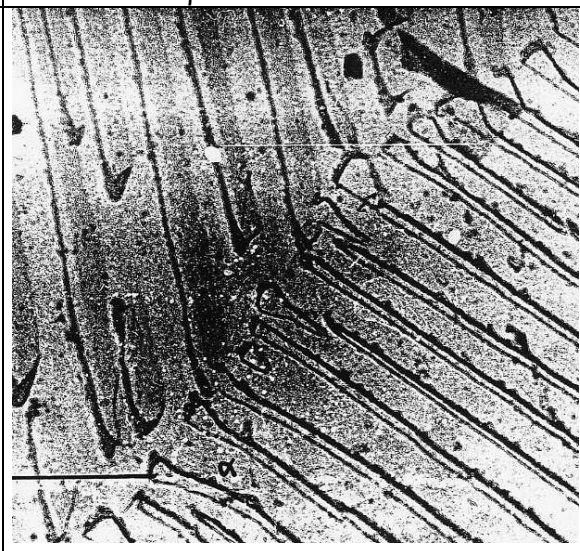
Superaliage base nickel



TA6Zr5D $\alpha+\beta$



Epoxy-verre



Acier eutectoïde

TD3 Composites

On considère le matériau composite stratifié à deux constituants de la figure 1 (le plan de la figure est plan de symétrie).

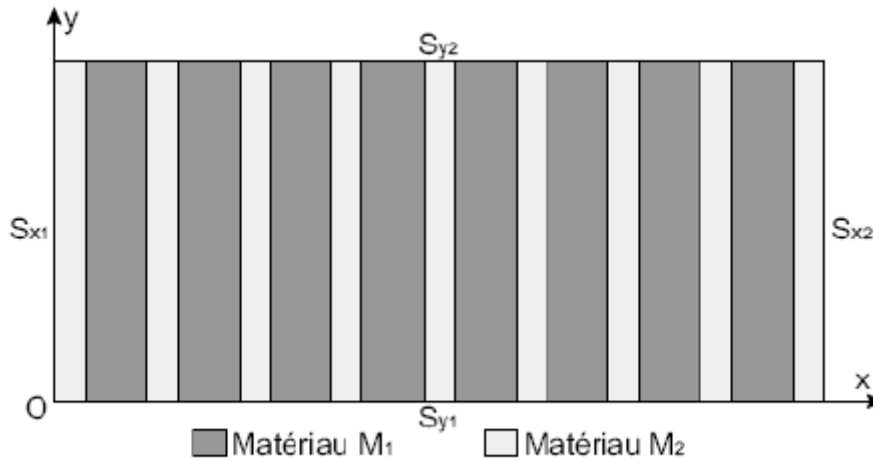


Figure 1

Le matériau M1 est isotrope. Son comportement est élastique fragile. Son module d'Young vaut $E_1=200\text{GPa}$ et sa limite d'élasticité $\sigma_{Y1}=500\text{MPa}$. La fraction volumique de matériau M1 vaut $f_1=0,5$.

Le matériau M2 est isotrope. Son comportement est élasto-plastique parfait. Son module d'Young vaut $E_2=100\text{GPa}$ et sa limite d'élasticité $\sigma_{Y2}=200\text{MPa}$. La fraction volumique de matériau M2 vaut $f_2=0,5$.

On souhaite prédire le comportement du matériau composite en traction uniaxiale dans la direction y . Les mécanismes de dégradation envisagés se limitent au dépassement de la limite élastique en traction de l'un ou l'autre des constituants (pas de délaminage).

- 1) Rappeler l'expression de la contrainte moyenne σ dans le composite en fonction des contraintes σ_1 dans le matériau M_1 et σ_2 dans le matériau M_2 .
- 2) Rappeler l'expression de la déformation moyenne ε dans le composite en fonction des déformations ε_1 dans le matériau M_1 et ε_2 dans le matériau M_2 .
- 3) Tracer (à l'échelle) les courbes de traction des matériaux M_1 et M_2 .
- 4) Calculer la limite d'élasticité σ_Y du matériau composite. Estimer la déformation correspondante à la limite d'élasticité.
- 5) Tracer la courbe de traction du matériau composite. On envisagera un trajet de charge-décharge (avec sortie du domaine élastique) avec retour à zéro de la contrainte appliquée.
- 6) Comment qualifier le comportement mécanique obtenu dans la direction de traction ?
- 7) Sachant que le coefficient de poisson de chaque constituant est de 0,3, évaluer le comportement (contrainte σ_x et déformation ε_x) dans le sens transversal du matériau sous chargement de traction.

8) Si le matériau M_1 est anisotrope, que signifie physiquement ? Dans la procédure de l'évaluation du comportement élastique du matériau composite, que doit change pour tenir compte de l'anisotropie de M_1 ?

9) Calculer la contrainte équivalente dans le cas où le matériau composite est soumis à une contrainte de traction équivalente à sa limite d'élasticité en utilisant le critère de Von Mises et de Tsai-Hill.

On s'intéresse à un bloc de béton armé. Ce bloc est constitué de tiges d'acier parallèles noyées dans une matrice de béton. L'ensemble est sollicité en traction dans la direction des renforts d'acier.

Le module d'Young, la limite d'élasticité en traction et les fractions volumiques des deux constituants de ces matériaux composites sont donnés dans le tableau suivant :

Matériau	Acier	Béton
Module d'Young	$E_1 = 200 \text{ GPa}$	$E_2 = 10 \text{ GPa}$
Limite d'élasticité en traction	$\sigma_{Y1} = 250 \text{ MPa}$	$\sigma_{Y2} = 10 \text{ MPa}$
Fraction volumique	$f_1 = 0,4$	$f_2 = 0,6$

Les mécanismes de dégradation envisagés se limitent au dépassement de la limite d'élasticité en traction de l'un ou l'autre des constituants (pas de délaminage).

a) Calculer la limite élastique σ_Y du béton armé (On considérera successivement chaque scénario de dégradation : plastification de l'acier ou rupture du béton).

On souhaite précontraindre le matériau. Pour cela, les renforts d'acier sont sollicités en traction à une valeur de contrainte $\sigma_{pr} = 150 \text{ MPa}$ pendant qu'ils sont noyés dans le béton. Une fois le béton durci, on relâche les tiges d'acier.

b) Indiquer l'état de contraintes dans le béton et dans les tiges d'acier, juste avant que l'on relâche la précontrainte.

c) Indiquer l'état de contraintes dans le béton et dans les tiges d'acier une fois relâchée la précontrainte (en l'absence de sollicitations mécaniques extérieures).

d) On prend cet état précontraint comme référence pour les déformations (on choisit $\varepsilon=0$ dans cette configuration). Calculer la limite élastique σ_Y' du béton armé précontraint.

e) Conclure sur l'intérêt de la précontrainte.

f) Sachant que le coefficient de poisson de chaque constituant est de 0,3, évaluer le comportement (contrainte σ et déformation ε) dans le sens transversal du matériau sous chargement de traction.