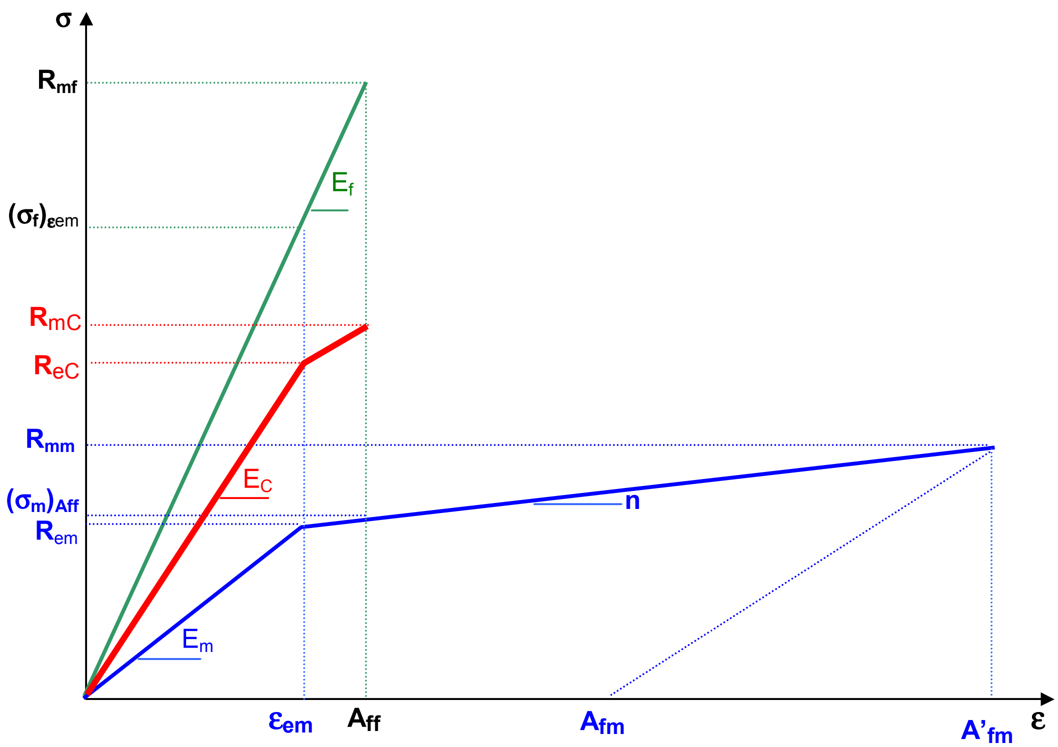
Chapitre 14 - Composites

EXERCICE 14-3

Avant de se lancer immédiatement dans la résolution du problème, il est utile de tracer schématiquement la courbe de traction de chacun des composants (matrice et renfort), ce qui permettra de répondre plus facilement aux questions. La figure ci-dessous (qui n'est pas à l'échelle) résume graphiquement les données du problème..



a) Module d'Young du composite :

Le module d'Young est aisément calculé par la règle des mélanges :

$$E_C = V_f E_f + (1 - V_f) E_m$$

Avec les données numériques, on obtient la valeur suivante :

$$\boxed{E_C = 220{,}5 \text{ GPa}}$$

b) Allongement final du composite à la rupture :

Par convention, l'allongement final A_C du composite à la rupture est égal à l'allongement A_{ff} des fibres à l'instant de leur rupture. Comme les fibres ont un comportement fragile, il suffit d'appliquer la loi de Hooke à ces fibres pour calculer leur allongement A_{ff} à la rupture :

$$A_C = A_{ff} = R_{mf} / E_f = 2500 \text{ MPa}/500 \text{ GPa} = 5\text{x}10^{-3}$$

$$\boxed{A_C = 0{,}5 \text{ \%}}$$

c) Limite d'élasticité du composite :

Pour vérifier si la courbe de traction du composite présente une transition « élastique – plastique », c'est-à-dire une limite d'élasticité, il faut vérifier si la matrice a commencé à se déformer plastiquement avant que les fibres ne se rompent. C'est le cas de figure représentée ci-dessus. Il faut donc vérifier si la déformation ε_{em}, atteinte dans la matrice à sa limite d'élasticité, est inférieure à l'allongement à la rupture A_{ff} des fibres calculé à la question précédente :

Pour calculer la déformation $\boldsymbol{\varepsilon_{em}}$, on applique la loi de Hooke à la matrice :

$$\varepsilon_{em} = R_{em}/E_m = 280\ \text{MPa}/70\ \text{GPa} = 4\text{x}10^{-3} = 0{,}4\ \%$$

On constate que $\boldsymbol{\varepsilon_{em}}$ est inférieure à $\boldsymbol{A_{ff}}$. Donc le composite présentera une limite d'élasticité sur sa courbe de traction.

On applique la règle des mélanges aux contraintes existant dans la matrice et dans les fibres et qui correspondent à la déformation $\boldsymbol{\varepsilon_{em}}$ à la limite d 'élasticité de la matrice (voir figure ci-dessus).

$$R_{eC} = V_f(\sigma_f)_{\varepsilon em} + (1 - V_f)R_{em} = V_f(E_f \varepsilon_{em}) + (1 - V_f)R_{em}$$

Avec les données numériques, on obtient la valeur suivante :

$$\boxed{R_{em} = 882\ \text{MPa}}$$

d) Résistance à la traction du composite :

Encore une fois, on applique la règle des mélanges aux contraintes s'exerçant dans la matrice et dans les fibres à l'instant de la rupture des fibres, c'est-à-dire pour la déformation $\boldsymbol{A_{ff}}$ (voir figure ci-dessus).

$$R_{mC} = V_f(R_{mf}) + (1 - V_f)(\sigma_m)_{Aff} \qquad (1)$$

Il faut donc calculer la contrainte $(\boldsymbol{\sigma}_m)_{Aff}$ existant dans la matrice quand les fibres se rompent . Pour cela il est nécessaire de connaître la pente $\mathbf{n}$ qui caractérise la consolidation plastique de la matrice ; d'après la figure ci-dessus, on obtient :

$$n = \frac{R_{mm} - R_{em}}{A'_{fm} - \varepsilon_{em}} = \frac{R_{mm} - R_{em}}{(A_{fm} + R_{mm}/E_m) - \varepsilon_{em}} = \frac{520 - 280}{(0{,}1166 + 0{,}520/70) - 0{,}004}$$

$$\mathbf{n} \approx 2000\ \text{MPa}$$

La contrainte $(\boldsymbol{\sigma}_m)_{Aff}$ dans la matrice est donc égale à :

$$(\sigma_m)_{Aff} = R_{em} + n(A_{ff} - \varepsilon_{em}) = 280 + 2000(0{,}005 - 0{,}004) = 282\ \text{MPa}$$

En portant cette valeur dans l'équation (1) et avec les autres valeurs numériques connues, on obtient ainsi la valeur de la résistance à la traction $\boldsymbol{R_{mC}}$ du composite :

$$\boxed{R_{mC} = 1058\ \text{MPa}}$$

Remarque : même si la contrainte $(\boldsymbol{\sigma}_m)_{Aff}$ dans la matrice n'est guère plus élevée que la limite d'élasticité de cette matrice (+ 2 MPa), l'effet de renfort dû aux fibres conduit à une amplification marquée de cette faible différence puisque l'écart entre la résistance à la traction du composite $\boldsymbol{R_{mC}}$ et sa limite d'élasticité $\boldsymbol{R_{eC}}$ est égal à 176 MPa. C'est une illustration claire de l'effet de renfort que l'on recherche dans les composites.

