TD 21 : Composites

N. BILLON

1 Les composites fibres continues

1-1) Si σ est le tenseur contrainte et ε le tenseur déformation il faut définir les éléments du tenseur des modules M ou du tenseur des complaisances J :

$$\sigma = M\,\varepsilon$$
$$\varepsilon = J\,\sigma$$

M et J comportent en toute généralités 21 coefficients indépendants qui se réduisent à 5 dans notre cas.

- Il s'agit des modules d'élasticité parallèlement et perpendiculairement aux fibres, E_1 et E_2, des deux coefficients de Poisson associés, ν_{12} et ν_{21}, et d'un module de cisaillement, G_{12}.

1-2) Le glissement n'est plus nul pour une contrainte normale. Ainsi une barre encastrée soumise à une traction fléchirait. Il y a donc un couplage entre la déformation en cisaillement et la déformation normale. On peut dans certains cas observer des torsions sous traction.

- On peut alterner les orientations des plis pour réaliser un composite quasi isotrope.

1-3) Module longitudinal, E_{cl}. Admettons que fibres, matrice et composite se déforment de la même façon, soit :

$$\varepsilon_f = \varepsilon_m = \varepsilon_c$$
$$\sigma_f = E_f\,\varepsilon_f \quad \text{et} \quad \sigma_m = E_m\,\varepsilon_m$$
$$\sigma_c = \Phi_f\,\sigma_f + (1-\Phi_f)\,\sigma_m$$
$$E_{cl} = \Phi_f\,E_f + (1-\Phi_f)\,E_m$$

C'est la borne de Kelvin Voigt.

Module transverse, E_{cT}. Admettons que la contrainte est homogène dans le composite :

$$\sigma_f = \sigma_m = \sigma_c$$
$$\sigma_f = E_f\,\varepsilon_f \quad \text{et} \quad \sigma_m = E_m\,\varepsilon_m$$
$$\varepsilon_c = \Phi_f\,\varepsilon_f + (1-\Phi_f)\,\varepsilon_m$$
$$\frac{1}{E_{cT}} = \frac{\Phi_f}{E_f} + \frac{(1-\Phi_f)}{E_m}$$

C'est la borne de Reuss.

1-4) Si on avait sollicité la matrice seule sa déformation axiale aurait été plus élevée et se serait accompagnée d'une contraction latérale. Dans le composite ce rétreint est bloqué par les fibres. La matrice s'allonge moins et le module est plus élevé. En fait il y a un couplage entre la déformation des différents éléments du composite.

- Un modèle complet doit prendre en compte les effets de couplage.

2 Les composites à phases dispersées

2-1) Les particules redistribuent les contraintes. Ainsi la matrice ne voit plus la contrainte appliquée à l'infini.

- La contrainte effectivement ressentie dépendra des propriétés relatives des deux matériaux, de r/R, c'est-à-dire la distance à la particule, et de l'angle θ.

- L'interface gère le transfert de contraintes et les continuités entre les deux matériaux. Elle a donc un rôle mécanique primordial.

2-2) En redistribuant les contraintes, les particules peuvent modifier les niveaux et localisations des maxima de pression hydrostatique et des contraintes de von Misès. Elles peuvent donc favoriser ou inhiber l'un ou l'autre des processus. Ceci conduira à un renforcement au choc si on favorise le cisaillement sur une matrice qui est très sensible au craquelage ou à une fragilisation si on favorise les craquelures sur un polymère plutôt sensible au cisaillement.