

Table des matières

Avant-propos	1
Introduction	3
Chapitre 1. Types de composites	15
1.1. Fibres, matrices, tissus, stratifiés, cellulaires	15
1.1.1. Les fibres	15
1.1.1.1. Catégories de verres	16
1.1.1.2. Identification	17
1.1.1.3. Autres types de fibres	18
1.1.1.4. Cermets et métaux durs	18
1.1.2. Les matrices	19
1.1.2.1. Matrice verre	19
1.1.2.2. Matrice céramique	20
1.1.3. Les tissus, les stratifiés et les sandwichs	22
1.1.3.1. Les formes linéiques	22
1.1.3.2. Les tissus	23
1.1.3.3. Les stratifiés	27
1.1.3.4. Les sandwichs	28
1.1.4. Les solides cellulaires : bois et mousses	31
1.1.4.1. Rôle de ρ/ρ_S sur les propriétés sens long et transverse aux fibres	32
1.1.4.2. Les mousses	35
1.2. Raideurs et résistances élastiques des composites selon la proportion volumique V_f de fibres et V_m de liants (matrice).	37

1.2.1. Cas des unidirectionnels	37
1.2.1.1. Modules d'élasticité d'UD	37
1.2.1.2. Module de Young longitudinal E_L (ou E_x)	38
1.2.1.3. Module de Young transversal E_T	39
1.2.1.4. Module de cisaillement G_{LT} (ou E_s)	40
1.2.1.5. Loi des mélanges pour l'angle dû au cisaillement.	41
1.2.1.6. Coefficients de Poisson ν_{LT} et ν_{TL}	42
1.2.1.7. Loi des mélanges	43
1.2.2. Influence de la distribution des contraintes entre fibre et matrice sur la loi des mélanges	44
1.2.2.1. Calcul de E_L /hybride.	44
1.2.2.2. Comparatif : carbone ou verre avec $V_f = 0,6$	46
1.2.2.3. Calcul des E_T /hybride	46
1.2.2.4. Calcul simplifié de $E_{T(\text{hybride})}$	46
1.2.2.5. Calcul de G_{LT} (ou E_s)	48
1.2.2.6. Calcul de ν_{LT}	49
1.3. Mesures des rigidités et des résistances	50
1.3.1. Cisaillement	51
1.3.2. Mesures de E_L , E_T et ν_{LT} par flexion	53
1.3.2.1. Par les flèches Δ en M.	53
1.3.2.2. Par jauges d'extensométrie	53
1.4. Valeurs de modules d'élasticité et de résistance	54
1.4.1. Les bois.	54
1.4.1.1. Exemple : les « composites bois » des instruments à cordes	55
1.4.2. Les composites verre-polyester.	59
1.4.3. Les composites hybrides ou mixtes	62
1.4.3.1. Types d'hybrides	63
1.4.3.2. Avantages des composites hybrides	64
1.4.3.3. Inconvénients des composites hybrides.	65
1.4.3.4. Exemples d'applications	66
1.4.3.5. Comportement	66
1.4.4. Constantes élastiques d'un pli pour divers composites à fibres de carbone, bore, verre et Kevlar.	67
1.5. Longueur critique et utilisation des fibres courtes	69
1.5.1. Utilisation des fibres courtes : exemple des granulés thermoplastiques renforcés (TPR)	71
1.5.2. Énergie de rupture G_c de composites fibreux.	73

1.6. Les composites particuliers	74
1.6.1. Exemple	75
1.6.2. Les charges	76

Chapitre 2. Matrices rigidité et souplesse 77

2.1. Matrices de rigidité [Q] et de souplesse [S] en membrane d'UD dans et hors axes d'orthotropie L et T	77
2.1.1. Raideurs et souplesses d'une couche dans ses axes d'orthotropie ℓ , t (ou x, y selon la notation)	77
2.1.2. Matrices raideurs et souplesses d'une couche hors axes d'orthotropie	79
2.1.2.1. Raideurs hors axes	80
2.1.2.2. Souplesses hors axes	80
2.2. Méthode de calcul des rigidités et des souplesses d'une couche d'UD hors axes	81
2.2.1. Exemples : UD carbone-époxy et bois	83
2.2.1.1. Cas d'UD	83
2.2.1.2. Cas des épicéas	84
2.2.1.3. Cas des érables	85
2.2.2. Rigidités des bois d'épicéa et d'érable	87
2.2.3. Rigidités et souplesses d'une couche hors axes : résumé pour UD	88
2.3. Déformations aux efforts de membranes : cas de déformations aux efforts de l'UD	93
2.4. Matrice de rigidité [A] et de souplesse [a] en membrane des stratifiés . .	94
2.4.1. Calcul des matrices	96
2.4.1.1. Méthode dite « de la caisse enregistreuse »	96
2.4.1.2. Méthode de la loi des mélanges	99
2.4.1.3. Résumé pour le calcul	101
2.5. Matrices de rigidité [D] et de souplesse [d] en flexion des stratifiés . .	105
2.5.1. Flexion des stratifiés	106
2.5.2. Calcul en flexion simplifiée de poutres sandwichs, valeur de flèche δ	109
2.6. Mécanique vibratoire et acoustique, modes de vibration	112
2.6.1. Exemple : cas d'un instrument de musique	115
2.6.1.1. Introduction : acoustique du bois et des stratifiés carbone . .	115
2.6.1.2. Performances des instruments à base de carbone	117

2.6.2. Raideurs en membrane et en flexion de bois et stratifiés carbone	117
2.6.3. Comparatif des réponses acoustiques entre des violons en bois et des prototypes stratifiés à base de carbone	120
2.6.3.1. Test acoustique	122

Chapitre 3. Comportement élastique, dimensionnements 127

3.1. Comportement élastique de tubes – Rigidité, déformation	127
3.1.1. Flexion	127
3.1.2. Torsion	130
3.1.3. Stratifiés tubulaires cylindriques	134
3.1.3.1. En flexion	135
3.1.3.2. En torsion	136
3.2. Comportement général de plaques stratifiées	137
3.2.1. Déformation totale	137
3.2.1.1. Relations entre déplacements et déformations.	137
3.2.1.2. Expression des déformations ε_{xx} , ε_{yy} , ε_{xy} en tout point du stratifié en fonction des déplacements u_0 , v_0 , ω du plan moyen . .	139
3.2.2. Efforts et moments résultants	141
3.2.3. Équations des stratifiés, rigidités : étude de plaques peu épaisses et déformations	142
3.2.4. Contraintes et déformations des différentes couches connaissant les sollicitations de chargement sur le plan moyen.	148
3.3. Comportement élastique et conception de pièces : comportement en flexion et torsion, cas du flambement et du battement de tubes	151
3.3.1. Arbre métallique	151
3.3.2. Arbre en composite	154
3.4. Comportement en limite élastique	161
3.4.1. Mécanismes de rupture.	161
3.4.1.1. Composite unidirectionnel (UD).	162
3.4.1.2. Rupture des stratifiés.	162
3.4.2. Critères de rupture	166
3.4.2.1. Données décrivant la résistance d'un UD ou d'un tissu . . .	166
3.4.2.2. Ruptures successives de couches	166
3.4.2.3. Rapport résistance/contrainte : coefficient de résistance R . .	167
3.4.2.4. Critères de contrainte et/ou de déformation maximales . . .	168
3.4.2.5. Critère quadratique.	169
3.4.2.6. Enveloppes de ruptures	173

3.5. Conception en contraintes principales	176
3.5.1. Contraintes et déformations principales	176
3.5.2. Invariantes des contraintes et des déformations	176
3.5.3. Dimensionnement des isotropes	177
3.5.4. Dimensionnement de matériaux directionnels	179
3.5.4.1. Coefficients de contraintes R.	180
3.5.4.2. Valeurs des déformations	180
3.5.4.3. Déformations équivalentes	181
3.5.4.4. Dimensionnement	181
Annexe. Pages des exemples traités avec leurs solutions	183
Liste des symboles	197
Liste des abréviations et définitions	203
Bibliographie	209
Index	211
Sommaire de <i>Rhéologie, comportement physique et mécanique de matériaux 1</i>	215
Sommaire de <i>Rhéologie, comportement physique et mécanique de matériaux 2</i>	217
Sommaire de <i>Rhéologie, comportement physique et mécanique de matériaux 3</i>	219