## 5. APPLICATIONS SUR LES STRATIFIES

Nous allons voir qu’à partir d’une même configuration donnée, nous pouvons obtenir des stratifiés dont les comportements mécaniques diffèrent selon le type de renfort choisi. Nous utiliserons pour cela les mêmes monocouches déjà présentées.

Pour les stratifiés composés de monocouches à renfort unidirectionnel, nous vérifierons la validité des formules de PUCK en traçant l’évolution de la valeur du critère en fonction de la fraction volumique des fibres Vf que nous optimiserons par la suite. Par conséquent, on prendra les limites maximales en valeur absolue des données de base dans le repère d’orthotropie, soient :

Xc = -700 MPa, Xt = 1100 MPa, Yc = -140 MPa, Yt = 40 MPa, T = 65 MPa

En supposant que pour une résine en polyester renforcée par de fibres de verre, la fraction volumique des fibres est comprise entre 0.1 et 0.4, nous prendrons Vf = 0,3.

Pour les monocouches à renfort par tissu équilibré, on aura les mêmes données utilisées précédemment.

Pour pouvoir comparer les contraintes moyennes admissibles avec les efforts généralisés, on prendra des monocouches de même épaisseur, on choisira e i = 1 mm.

Pour une résine en polyester renforcée par des fibres de verre, les données de chaque composante sont les suivantes :

E f = 71 500 MPa

ν f = 0,25

V f = 0,345

2000 MPa ≤ E m ≤ 4000 MPa ; on prendra E m = 2900 MPa

ν m = 0,4

### 5.1. Stratifié (90/0/0/90) – renfort unidirectionnel

Il s’agit d’une configuration orthogonale symétrique par rapport à son plan moyen géométrique, on a alors un modèle sans couplage membrane-flexion. Dans cet exemple on a quatre couches 1,2,3,4 à renfort unidirectionnel dont les fibres sont orientées respectivement par rapport au repère global par les angles θ1 = 0°,θ2 = 90°,θ3 = 90°,θ4 = 0°.

Nous adoptons la notation suivante : Stratifié (θ1/θ2/…./θi), pour désigner un stratifié donné.

#### 5.1.1. Contraintes moyennes admissibles en membrane

Avec quelques valeurs de α, regroupons sous forme de tableau les résultats obtenus à partir de la relation (83)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 ° | 15 ° | 30 ° | 45 ° |
| σm1c [MPa]  ] | -274.17 | -229.70 | -168.65 | -152.69 |
| σm1t [MPa] | 77.96 | 77.07 | 77.88 | 86.54 |
| σm2c [MPa] | -274.17 | -229.70 | -168.65 | -152.69 |
| σm2t [MPa] | 77.96 | 77.07 | 77.88 | 86.54 |
| σm6+ [MPa] | 65.00 | 62.89 | 73.68 | 87.15 |
| σm6- [MPa] | -65.00 | -62.89 | -73.68 | -87.15 |
| σmb+ [MPa] | 68.73 | 68.73 | 68.73 | 68.73 |
| σmb- [MPa] | -220.38 | -220.38 | -220.38 | -220.38 |

Tableau 10 : Contraintes moyennes admissibles [σm]ad - – stratifié à renfort unidirectionnel

**Commentaires**

#### 5.1.2. Constantes pratiques apparentes

A partir des relations (75) et (85), regroupons dans le tableau ci-dessous les diverses caractéristiques apparentes du stratifié étudié, pour des modèles en membrane et en flexion

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 ° | 15 ° | 30 ° | 45 ° |
| E1m [MPa] | 18231.17 | 13589.94 | 9005.01 | 7705.23 |
| E2m [MPa] | 18231.17 | 13589.94 | 9005.01 | 7705.23 |
| G12m [MPa] | 2327.76 | 2819.55 | 4882.69 | 7699.77 |
| ν12m | 0.18 | 0.39 | 0.60 | 0.66 |
| ν16m | 0.00 | -0.88 | -0.58 | 0.00 |
| ν26m | 0.00 | 0.88 | 0.58 | 0.00 |
| E1f [MPa] | 11718.37 | 10013.00 | 7889.55 | 7512.15 |
| E2f [MPa] | 24561.17 | 16332.72 | 9574.95 | 7512.15 |
| G12f [MPa] | 2327.76 | 2781.60 | 4559.53 | 6701.12 |
| ν12f | 0.14 | 0.29 | 0.51 | 0.61 |
| ν16f | 0.00 | -0.50 | -0.33 | 0.17 |
| ν26f | 0.00 | 1.17 | 0.77 | 0.17 |

Tableau 11 : Constantes pratiques apparentes – stratifié à renfort par tissu équilibré

**Commentaires**

***Rigidité en membrane :***

***Rigidité en flexion :***

### 5.2. Stratifié (45/90/90/45) – renfort par tissu équilibré

Avec la même configuration que précédemment, on prendra des monocouches renforcées par un tissu équilibré obtenu par croisement des fibres à 90°. Les couches sont alors empilées de la même façon.

#### 5.2.3. Contraintes moyennes admissibles en membrane

Avec quelques valeurs de α, regroupons sous forme de tableau les résultats obtenus à partir de la relation (83)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 ° | 15 ° | 30 ° | 45 ° |
| σm1c [MPa]  ] | -110.11 | -118.66 | -150.16 | -130.85 |
| σm1t [MPa] | 31.28 | 34.00 | 44.56 | 76.78 |
| σm2c [MPa] | -130.85 | -150.16 | -118.66 | -110.11 |
| σm2t [MPa] | 76.78 | 44.56 | 34.00 | 31.28 |
| σm6+ [MPa] | 90.88 | 102.00 | 102.00 | 90.88 |
| σm6- [MPa] | -25.35 | -29.04 | -29.04 | -25.35 |
| σmb+ [MPa] | 40.65 | 40.65 | 40.65 | 40.65 |
| σmb- [MPa] | -137.75 | -137.75 | -137.75 | -137.75 |

Tableau 14 : Contraintes moyennes admissibles [σm]ad – stratifié à renfort par tissu équilibré

**Commentaires :**

#### 5.2.4. Constantes pratiques apparentes

A partir des relations (75) et (85), regroupons dans le tableau ci-dessous les diverses caractéristiques apparentes du stratifié étudié, pour des modèles en membrane et en flexion

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 ° | 15 ° | 30 ° | 45 ° |
| E1m [MPa] | 14248.19 | 14248.19 | 14248.19 | 14248.19 |
| E2m [MPa] | 14248.19 | 14248.19 | 14248.19 | 14248.19 |
| G12m [MPa] | 5148.45 | 5148.45 | 5148.45 | 5148.45 |
| ν12m | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 |
| ν16m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ν26m | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| E1f [MPa] | 9610.35 | 10863.48 | 14696.05 | 17843.60 |
| E2f [MPa] | 9610.35 | 10863.48 | 14696.05 | 17843.60 |
| G12f [MPa] | 7263.97 | 5385.67 | 3549.85 | 3032.93 |
| ν12f | 0.58 | 0.53 | 0.36 | 0.23 |
| ν16f | 0.00 | 0.45 | 0.61 | 0.00 |
| ν26f | 0.00 | -0.45 | -0.61 | 0.00 |

Tableau 15 : Constantes pratiques apparentes – stratifié à renfort par tissu équilibré

**Commentaires**

***Rigidité en membrane :***

***Rigidité en flexion :***