

Manuel d'Utilisation**Fascicule U2.02 : Eléments de structure****Document : U2.02.03**

Notice d'utilisation du Pré et Post-processeur "coques minces composites"

Résumé

La modélisation du comportement thermo-mécanique d'une structure constituée d'un matériau composite multicouche se décompose en trois étapes :

- la détermination des grandeurs mécaniques et thermiques sur la surface moyenne de la coque, c'est-à-dire, l'étude de la relation contraintes-déformations du composite multicouche à partir des caractéristiques de chaque couche et d'une description spatiale simple du multicouche, comme décrit en [R4.01.01].
Cette étape se veut indépendante du type d'élément utilisé dans la phase de calcul et constitue le pré-processeur "coques minces composites" d'Aster,
- le calcul par éléments finis, sur la surface moyenne de la coque,
- la détermination couche par couche, du tenseur de déformations, du tenseur de contraintes, et du critère de rupture dit critère de la contrainte maximale. Ceci est réalisé par le post-processeur.

1 Pré-processeur

Le pré-processeur doit déterminer les coefficients de la matrice de rigidité, caractérisant la relation contraintes-déformations, qui se ramène dans le cas des coques à une relation entre les efforts généralisés (\vec{N}, \vec{M}) et les tenseurs de déformation (\vec{E}) et de variation de courbure (\vec{K}) ; On ajoute si nécessaire à cette relation les efforts généralisés d'origine thermique $(\vec{N}_{th}, \vec{M}_{th})$.

$$\begin{pmatrix} \vec{N} \\ \vec{M} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \vec{E} \\ \vec{K} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \vec{N}_{th} \\ \vec{M}_{th} \end{pmatrix}$$

Cette détermination nécessite les données suivantes :

- caractéristiques des divers matériaux constituant le multicouche (chaque couche peut être un matériau isotrope ou un matériau orthotrope défini par un nombre approprié de constantes élastiques).

Remarque :

| Plusieurs couches peuvent être de même matériau.

- direction de référence, définie sur la surface moyenne de la coque, et permettant d'introduire aisément, l'orientation des couches les unes par rapport aux autres ; cette direction de référence est celle définie par le mot clé ORIENTATION de COQUE par l'opérateur AFPE_CARA_ELEM (voir [U4.24.01]).
- d'une description spatiale du multicouche qui comprend, couche par couche, (en débutant par la couche inférieure relativement à la normale à l'élément), la donnée du matériau, de l'épaisseur et de l'orientation des axes d'orthotropie du matériau par rapport à l'axe de référence.

1.1 Définition d'un matériau

La définition du matériau se fait à l'aide de l'opérateur `DEFI_MATERIAU` [U4.23.01].

`materi [mater] = DEFI_MATERIAU`

```
( ♦ | / ELAS: (
    ♦ E :          yg      [R]
    ♦ NU :         nu      [R]
    ◇ RHO :        rho     [R]
    ◇ ALPHA :      dil     [R]
    )
/ ELAS_FO : (
    ♦ E :          yg      [fonction 'TEMP']
    ♦ NU :         nu      [fonction 'TEMP']
    ◇ RHO :        rho     [R]
    ◇ ALPHA :      dil     [fonction 'TEMP']
    )
/ ELAS_ORTHO : (
    ♦ E_L :        ygl     [R]
    ♦ E_T :        Ygt     [R]
    ♦ NU_LT :      nult     [R]
    ♦ G_LT :       glt     [R]
    ◇ RHO :        rho     [R]
    ◇ ALPHA_L :    dil     [R]
    ◇ ALPHA_T :    dit     [R]
    ◇ XT :         trl     [R]
    ◇ XC :         col     [R]
    ◇ YT :         trt     [R]
    ◇ YC :         cot     [R]
    ◇ S_LT :       cis     [R]
    )
| / THER : (
    ♦ CP :         cp      [R]
    ♦ LAMBDA :     la      [R]
    )
/ THER_FO : (
    ♦ CP :         cp      [fonction 'INST']
    ♦ LAMBDA :     la      [fonction 'INST']
    )
/ THER_ORTHO : (
    ♦ CP :         cp      [fonction 'INST']
    ♦ LAMBDA_L :   lal     [fonction 'INST']
    ♦ LAMBDA_T :   lat     [fonction 'INST']
    ♦ LAMBDA_N :   la      [fonction 'INST']
    )
);
```

Pour un matériau isotrope,

pour un matériau orthotrope (L, T) axes d'orthotropie,

suivant L en traction
suivant L en compression
suivant T en traction
suivant T en compression
en cisaillement

à la rupture

pour un matériau isotrope,

pour un matériau orthotrope (L,T) axes d'orthotropie N axe normal à la surface moyenne.

Remarques :

- l'application d'un critère de rupture, quel qu'il soit, nécessite la connaissance des contraintes à la rupture en traction, compression et cisaillement. Ce sont des caractéristiques du matériau que l'on peut introduire au niveau de l'opérateur `DEFI_MATERIAU`, par les mots clés `XT`, `XC`, `YT`, `YC` et `S_LT`, et qui sont exploitées par le post-traitement.
- il est possible de définir un matériau dont les contraintes élastiques `E_L`, `E_T`, `NU_LT` et `G_LT` sont identiquement nulles.

Cela est particulièrement utile dans le cas d'un matériau "sandwich" dont la couche centrale n'intervient pas par sa rigidité mais uniquement par l'écartement qu'elle impose aux couches situées de part et d'autre.

1.2 Définition d'une direction de référence

La direction de référence est défini par la projection \vec{X}_1 d'un vecteur \vec{V} choisi par l'utilisateur par la donnée de 2 angles, sur le plan tangent à la coque [R4.01.01]

$$\text{Angle 1} = (\vec{X}, \vec{V}_{\text{proj}(\vec{X}, \vec{Y})})$$

$$\text{Angle 2} = (\vec{V}_{\text{proj}(\vec{X}, \vec{Y})}, \vec{V}) \text{ avec } (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}) \text{ repère global.}$$

La donnée de ces deux angles, se fait à l'aide de l'opérateur AFPE_CARA_ELEM [U4.24.01].

```
[cara] = AFPE_CARA_ELEM
(
  ◆ MODELE :      mod                               [modele]
  ◇ COQUE :      (
    ◆ / TOUT :      'OUI'
    / MAILLE :      lma                               [l_maille]
    / GROUP_MA :    lgma                               [l_gr_maille]
    ◆ EPAIS :      epais                               [R]
    ◇ ANGL_REP :    angle1, angle2                     [l_R]
    ◇ COURB :      courbure                             [R]
  )
) ;
```

Remarque :

Actuellement, un seul élément fini de coque mince permet de traiter des matériaux orthotropes : l'élément de coque cylindrique (MODELISATION : 'COQU_CYL' spécifiée par AFPE_MODELE), pour lequel le rayon de courbure 1/R est donné par le mot clé COURB.
 Le comportement orthotrope pour les modélisations DKT et DST est en cours de réalisation.

1.3 Définition de la description spatiale du multicouche

La définition du multicouche se fait à l'aide de l'opérateur DEFI_COQU_MULT :

```
multicouche = DEFI_COQU_MULT
(
  ◆ COUCHE :      (
    ◆ EPAIS :      epais                               épaisseur de la couche i
    ◆ MATER :      [mat]                               [mat] associé à la couche i
    ◇ ORIENTATION : orien                             orientation de la couche
                                                         par rapport à l'axe de référence
                                                         (angle en degrés)

    ◇ IMPR :      / 0
                  / 1
                  / 2
  )
) ;
```

Le mot clé facteur COUCHE apparait autant de fois qu'il y a de couches dans le matériau composite. Les couches sont données de la couche inférieure à la couche supérieure en se référant à la normale à l'élément.

2 Post-processeur

Le rôle du post-processeur, est de fournir, couche par couche, l'état des déformations, des contraintes et une évaluation du critère de rupture, dit de la contrainte maximale.

Son utilisation se fait à l'aide de l'opérateur CALC_CHAM_ELEM :

```

résultat = CALC_CHAM_ELEM
(
  ◆ MODELE :          mo          [modele]
  ◆ CHAM_MATER :      chmater      [cham_mater]
  ◇ CARA_ELEM :       carac        [cara_elem]
  ◇ NUME_COUCHE :     [I]
  ◇ NIVE_COUCHE :     / 'SUP'      [K3]
                        / 'INF'      [K3]
                        / 'MOY'      [K3]
  ◇ INST :           / tps         [R]
                        / 0.         {DEFAULT}
/  ◆ OPTION :         / 'SIEF_ELGA_DEPL' [K16]
                        / 'SIGM_ELNO_DEPL'
                        / 'EFGE_ELNO_DEPL'
                        / 'DPGE_ELNO_DEPL'
                        / 'EPSI_ELNO_DEPL'
                        / 'CRIT_ELNO_RUPT'
  ◆ DEPL :           depl          [cham_no_DEPL_R]
  ◇ CHARGE :          charge        [charge]
  ◇ CHAM_ELEM :       carac        / [cham_elem_SIEF_R]
                                   [cham_elem_EPSI_R]
/  ◆ OPTION :         / 'FLUX_ELGA_TEMP' [K16]
                        / 'FLUX_ELNO_TEMP' [K16]
  ◆ TEMP :           temp          [cham_no_TEMP_R]
) ;

```

Le résultat est selon l'option choisie par l'utilisateur, un tenseur de déformations, un tenseur de contraintes, un critère de rupture...

Dans le cas d'un critère de rupture les grandeurs calculées sont :

$$\begin{aligned}
 CR_{LL} &= \frac{\sigma_{LL}}{X_T} & \text{si } \sigma_{LL} \geq 0 & X_T : & \text{contrainte de rupture en traction suivant l'axe } \vec{L} \\
 & & & & \text{(1ère direction d'orthotropie),} \\
 &= - \frac{\sigma_{LL}}{X_C} & \text{si } \sigma_{LL} < 0 & X_C : & \text{contrainte de rupture en compression suivant l'axe } \vec{L}. \\
 CR_{TT} &= \frac{\sigma_{TT}}{Y_T} & \text{si } \sigma_{LL} \geq 0 & Y_T : & \text{contrainte de rupture en traction suivant l'axe } \vec{T} \\
 & & & & \text{(2ème direction d'orthotropie),} \\
 &= - \frac{\sigma_{TT}}{Y_C} & \text{si } \sigma_{LL} < 0 & Y_C : & \text{contrainte de rupture en compression suivant l'axe } \vec{T}. \\
 CR_{LT} &= \left| \frac{\sigma_{LT}}{S_{LT}} \right| & S_{LT} : & & \text{contrainte de rupture en cisaillement dans le plan } (\vec{L}, \vec{T}).
 \end{aligned}$$

Les contraintes de rupture sont introduites à l'aide de l'opérateur DEFI_MATERIAU comme indiqué au [§ 1.1].

Le résultat est calculé, au choix de l'utilisateur, sur la surface supérieure, inférieure ou moyenne (mot clé NIVE_COUCHE), d'une couche spécifiée par le mot clé NUME_COUCHE.

Page laissée intentionnellement blanche.