

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U2.03 : Thermo-mécanique**  
**Document : U2.03.03**

# Notice d'utilisation du modèle de coque mince thermique

## Résumé

La détermination du champ de température dans une structure mince soumise à différentes conditions thermiques peut se faire avantageusement à l'aide du modèle de coque mince thermique décrit en [R3.11.01]. La température est décrite par trois champs scalaires, notés  $TEMP$ ,  $TEMP\_INF$ ,  $TEMP\_SUP$  définis sur la surface moyenne ( $x_\alpha$ ) de la coque, qui devra être maillée, et par une répartition dans l'épaisseur  $x_3$  donnée par :

$$T(x_\alpha, x_3) = TEMP(x_\alpha)P_1(x_3) + TEMP\_INF(x_\alpha)P_2(x_3) + TEMP\_SUP(x_\alpha)P_3(x_3)$$

les fonctions  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$  étant données. Dans ce modèle, la courbure de la coque n'intervient pas.

On peut traiter les situations stationnaires, ainsi que les problèmes d'évolution. Ces derniers doivent cependant respecter une limitation : il est nécessaire que les instants  $t_c$  caractéristiques de l'évolution des chargements soient tels que :

$$t_c > \frac{\rho c}{\Lambda_{33}} h^2$$

avec :

- $\rho c$  : chaleur volumique du matériau constitutif de la coque,
- $h$  : demi épaisseur de la coque,
- $\Lambda_{33}$  : coefficient de conductivité transversale.

On donne ici la description des commandes *Aster* utiles au calcul, classées par fonctionnalités chronologiques.

## 1 Gestion du travail : maillage

Le procédé de maillage le plus général d'une surface quelconque dans  $\mathbb{R}^3$  étant la triangularisation, on doit donc constituer un maillage par triangles de la surface moyenne de la coque, plongée dans  $\mathbb{R}^3$ . Cela peut se faire avec IDEAS et la procédure PRE\_IDEAS pour la conversion du fichier universel IDEAS [U4.13.01].

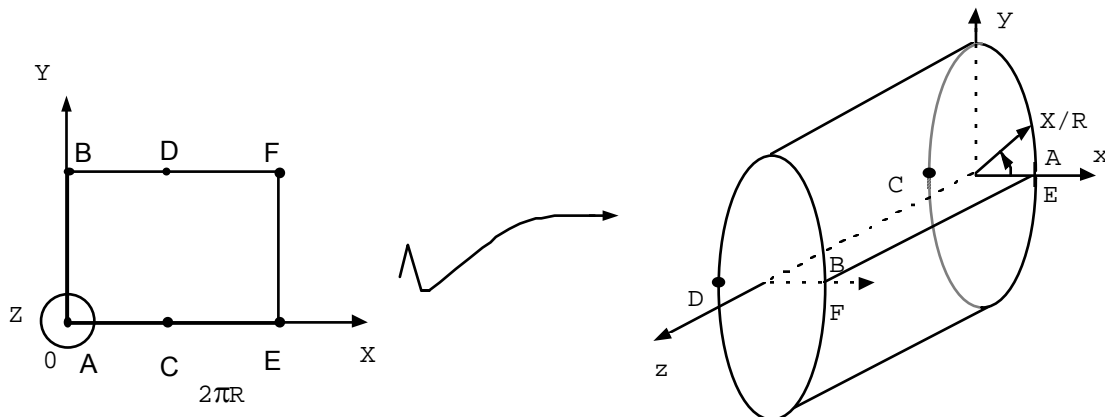
Dans le cas d'une plaque ou d'un cylindre, on peut utiliser d'Ali-Baba et la procédure PRE\_ALIBABA pour la conversion [U4.13.02], qui génère un maillage plongé dans  $\mathbb{R}^3$ .

Exemple :

```
PRE_ALIBABA (    ◇   PLAQUE :    /    'OUI'
                  /    'NON'          [DEFAULT]
                  ◇   CYLINDRE :    (R : rayon)
                ) ;
```

Dans le cas du cylindre le maillage plan (X, Y) d'Ali-Baba est transformé en un maillage :

$$(x = R \cos \frac{X}{R}, \quad y = R \sin \frac{X}{R}, \quad z = Y) \quad \text{dans } \mathbb{R}^3, \text{ où } R \text{ est le rayon.}$$



Le cylindre créé par enroulement de la plaque 2D est d'axe  $z > 0$ ; la paroi extérieure au cylindre correspond à la face 2D supérieur  $z > 0$ .

Les équations de la thermique de coque étant d'ordre 2, on pourra utiliser pour mailler :

- des triangles à 3 nœuds (qui donneront des éléments P1),
- des triangles à 6 nœuds (pour du P2).

## 2 Modélisation, caractéristiques, matériau, chargements

- Pour décrire par exemple les matériaux, les chargements ..., on peut utiliser des constantes, des fonctions ou des nappes avec les opérateurs `DEFI_CONSTANTE`, `DEFI_FONCTION` ou `DEFI_NAPPE` [U4.21.01, -.02, -.03].
- Pour affecter les éléments finis sur le maillage, on utilise l'opérateur `AFFE_MODELE` de la façon suivante :

```
mod = AFFE_MODELE ( ♦ MAILLAGE :      ma
                    [maillage]
                    ♦ AFFE : ( ♦ TOUT :      'OUI'
                               ♦ PHENOMENE : 'THERMIQUE'
                               ♦ MODELISATION: 'COQUE'      )
                    ) ;
```

- Pour affecter les caractéristiques géométriques aux éléments, en l'occurrence l'épaisseur, on doit utiliser l'opérateur `AFFE_CARA_ELEM` [U4.24.01] :

```
cara = AFFE_CARA_ELEM ( ♦ MODELE :      mod [modele]
                       ♦ COQUE : ( ♦ TOUT : 'OUI'
                                   ♦ EPAIS: epais
                       ) ;
```

- La définition des matériaux et leur affectation au maillage se font de façon habituelle [U4.23.01 et -.02].
- L'affectation des chargements thermiques se fait à l'aide des opérateurs `AFFE_CHAR_THER` ou `AFFE_CHAR_THER_F` [U4.25.02]. Les différents mots clés utilisables sont :

```
| TEMP_IMPO : ( ♦ / NOEUD :      lno
                 / GROUP_NO :    lgno
                 ♦ | TEMP :      t1 [R] ou [fonction]
                 | TEMP_INF :    t2 [R] ou [fonction]
                 | TEMP_SUP :    t3 [R] ou [fonction]
                 ) ;
```

On peut ainsi choisir le ou les `ddl` qui auront des valeurs imposées.

```
| ECHANGE : ( ♦ / TOUT :      'OUI'
               / MAILLE :      lma
               / GROUP_MA :    lgma
               ♦ | COEF_H_INF : hinf [R] ou [fonction]
                 TEMP_EXT_INF : tinf [R] ou [fonction]
               ♦ | COEF_H_SUP : hsup [R] ou [fonction]
                 TEMP_EXT_SUP : tsup [R] ou [fonction]
               ) ;
```

On donne ainsi les coefficients d'échange et les températures extérieures sur les parois supérieures et inférieures. Il faut noter que les coefficients d'échange interviennent aussi dans l'expression de la "rigidité" dans les équations, et pas seulement (comme pour les températures extérieures) dans les seconds membres.

Titre : Notice d'utilisation du modèle de coque mince thermique  
Auteur(s) : A.M. DONORE, F. VOLDOIRE

Date : 22/01/02  
Clé : U2.03.03-A Page : 4/6

**Remarque :**

Le modèle considéré ici néglige la courbure de la coque. Cependant [R1.03.01.] si l'épaisseur de la coque n'est pas assez faible par rapport au rayon de courbure moyen, il est préférable de corriger les valeurs des coefficients d'échange, faute de quoi on commet une erreur sur la température de l'ordre de :

$$\frac{h_{inf} - h_{sup}}{h_{inf} + h_{sup}} * \frac{\text{épais}}{\text{rayon}}$$

La correction est la suivante :

COEF\_H\_INF : la valeur  $h_{inf}$  multipliée par  $(1 - \text{epais} \times \text{courbure\_moyenne})$ .

COEF\_H\_SUP : la valeur  $h_{sup}$  multipliée par  $(1 + \text{epais} \times \text{courbure\_moyenne})$ ,

- Pour les plaques, cela n'a pas lieu d'être.
- Pour les cylindres, la correction sera respectivement :

$$(1 + \text{epais} / \text{rayon}), (1 - \text{epais} / \text{rayon}).$$

```
I  FLUX_REP :    (  ♦  /  TOUT :      'OUI'
                   /  MAILLE :      lma
                   /  GROUP_MA :    lgma
                   ♦  I  FLUX_INF :   finf      [R] ou   [fonction]
                   I  FLUX_SUP :   fsup      [R] ou   [fonction]
                   )
```

On fournit ainsi les valeurs des flux imposés sur les 2 faces de la coque.

**Remarque :**

Comme pour les coefficients d'échange (voir ci-dessus), on peut être amené à corriger les flux en paroi supérieure ou inférieure par :  
 $(1 \pm \text{epais} \cdot \text{courbure\_moyenne})$ .

### 3 Commande GLOBALE : calcul élémentaire, assemblage, résolution

On peut se servir de la commande globale THER\_LINEAIRE pour un calcul stationnaire [U4.33.02].

```
temp =      THER_LINEAIRE      (  ♦  MODELE : mod
                                ♦  CHAM_MATER : mat
                                ♦  TEMP_INIT : (STATIONNAIRE : 'oui')
                                ♦  EXCIT: (  ♦  CHARGE : cht
                                           ◇  FONC_MULT : coef
                                )
                                [fonction]
                                )
                                ♦  CARA_ELEM : cara
                                ) ;
```

Ou bien on peut utiliser les opérateurs de base :

```
mel =      CALC_MATR_ELEM      (  ♦  OPTION :      'RIGI_THER'      [U4.41.01]
                                ♦  MODELE :      mod ,
                                ♦  CHAM_MATER : mat ,
                                ♦  CARA_ELEM : cara ,
                                ♦  CHARGE : cht
                                ) ;
```

```
vel =      CALC_VECT_ELEM      (  ♦  OPTION :      'CHAR_THER'      [U4.41.02]
                                ♦  MODELE :      mod ,
                                ♦  CHAM_MATER : mat ,
                                ♦  CARA_ELEM : cara ,
                                ♦  CHARGE : cht
                                ) ;
```

```
nu =      NUME_DDL              (  ♦  MATR_RIGI :      mel      ) ;      [U4.42.01]
```

```
ma =      ASSE_MATRICE          (  ♦  MATR_ELEM :      mel      [U4.42.02]
                                ♦  NUME_DDL :      nu
                                ) ;
```

```
vecas =   ASSE_VECTEUR          (  ♦  VECT_ELEM :      vel      [U4.42.03]
                                ♦  NUME_DDL :      nu
                                ) ;
```

```
&ma =     FACT_LDLT             (  ♦  MATR_ASSE :      ma      ) ;      [U4.51.01]
```

```
temper =  RESO_LDLT             (  ♦  MATR_FACT :      ma ,      [U4.51.02]
                                ♦  CHAM_NO :      vecas
                                ) ;
```

Dans le cas où on désire résoudre un problème d'évolution, on pourra utiliser une décomposition sur les modes propres spatiaux [R1.03.01].

On doit d'abord construire la matrice de "masse", puis résoudre le problème aux valeurs propres associées. Pour cela on utilise la succession des opérateurs (avec les concepts créés précédemment décrits : mel, nu, ma).

```
melma =  CALC_MATR_ELEM  (  ♦  OPTION :      'MASS_THER'      [U4.41.01]
                           ♦  MODELE  :      mod ,
                           ♦  CHAM_MATER : mat ,
                           ♦  CARA_ELEM : cara  ,
                           ♦  CHARGE  :  cht
                           ) ;

mama =  ASSE_MATRICE     (  ♦  MATR_ELEM :      melma      [U4.42.02]
                           ♦  NUME_DDL  :      nu  ,
                           ) ;

modeth =  MODE_ITER_INV  (  ♦  MATR_A  :      ma  ,      [U4.52.01]
                           ♦  MATR_B  :      mama  ,
                           ♦  CALC_FREQ :  (LIST_FREQ : l_f  )
                           ) ;
```

## 4 Post traitement du calcul

Le calcul des flux de chaleur dans la structure peut se faire à l'aide de l'opérateur suivant :

```
flu = CALC_CHAM_ELEM      (  ♦  MODELE  :      mod
                           ♦  CHARGE  :      cht
                           ♦  TEMPE  :      temper
                           ♦  CARA_ELEM :      cara
                           ♦  CHAM_MATER :      mat
                           ♦  OPTION  :  /  'FLUX_ELNO_TEMP'
                           /  'FLUX_ELGA_TEMP'
                           ) ;
```

L'option 'FLUX\_ELNO\_TEMP' permet de calculer les flux aux nœuds de chaque élément par interpolation (le concept résultat est bien un champ aux éléments).

L'option 'FLUX\_ELGA\_TEMP' permet de calculer les flux aux points de GAUSS de chaque élément.

## 5 Impressions de résultats

On utilisera la procédure IMPR\_RESU :

```
IMPR_RESU  (  ♦  MODELE  :      mod
              ♦  RESU  :      (  ♦  CHAM_GD : nom_cham)
              ) ;
```

nom\_cham, désignant un concept de type : température, flux ... (champ aux nœuds ou champ aux éléments).

Exemple :

```
IMPR_RESU  (  MODELE  :      mod      RESU  :      (CHAM_GD : temper),
              RESU  :      (CHAM_GD : flu)
              ) ;
```