

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées**  
**Document : U4.85.01**

## Opérateur *CALC\_META*

---

### 1 But

---

Calcule l'évolution métallurgique associée à une histoire thermique.

L'opérateur fonctionne en tant que post-traitement du résultat du calcul thermique dans le sens où ce dernier est une donnée « entrant » du calcul métallurgique et qu'il n'y a pas de couplage entre la métallurgie et la thermique. Deux modèles d'évolution sont disponibles :

- un modèle dédié aux transformations austénite-féritiques de l'acier,
- un modèle dédié aux transformations des alliages de zirconium.

Le calcul se fait selon l'option choisie soit aux point de Gauss, soit aux nœuds.

Le résultat obtenu pourra par la suite être utilisé en donnée de chargement d'un calcul thermo-mécanique avec prise en compte de la métallurgie. On peut également à l'issue d'un calcul de métallurgie effectuer un calcul de post-traitement de dureté.

Opérateur réentrant, enrichit une structure de données *evol\_ther*.

## 2    Syntaxe

```
temper = CALC_META (
    ◇ reuse = temper,
    ◆ MODELE      = mo      ,      [modele]
    ◆ CHAM_MATER  = chmat   ,      [cham_mater]
    ◆ RESULTAT    = temper ,      [evol_ther]
    ◆ ETAT_INIT   = _F (
        / ◆ EVOL_THER= temper,      [evol_ther]
          ◆ / NUME_INIT= nuini_temper, [I]
            / INST_INIT= to,          [R]
              ◇ PRECISION= PREC,      [R]
              ◇ CRITERE= / 'RELATIF', [DEFAULT]
                  'ABSOLU',
            / META_INIT = phasinit,    [carte_VAR2_R]
              )
    ◆ COMP_INCR = _F (
        ◆ RELATION = / 'ACIER',
                  / 'ZIRC',

        ◇ / TOUT      = 'OUI' ,      [DEFAULT]
          / | GROUP_MA = lgrma ,      [l_gr_maille]
            | MAILLE   = lma   ,      [l_ma]
          )
    ◇ OPTION = 'META_ELNO_TEMP',

    )
```

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérandes **MODELE / CHAM\_MATER**

- ♦ **MODELE** = *mo* ,  
Nom du modèle dont les éléments font l'objet du calcul métallurgique.
- ♦ **CHAM\_MATER** = *chmat* ,  
Nom du champ du matériau affecté sur le modèle *mo*.

### 3.2 Opérande **RESULTAT**

- ♦ **RESULTAT** = *temper* ,  
Nom du résultat *evol\_ther* issu d'un calcul thermique à partir duquel on fait un calcul de métallurgie. Ce résultat sera à l'issue du calcul enrichi de l'évolution de champ métallurgique, champs de variables internes dont le nombre et la signification dépendent du modèle de transformation utilisé (cf [§3.3.1]).

### 3.3 Mot clé **COMP\_INCR**

- ♦ **COMP\_INCR** =  
Renseigne le modèle d'évolution métallurgique utilisé. On peut utiliser dans le même calcul différents modèles d'évolution sur des parties différentes.

#### 3.3.1 Opérande **RELATION**

- ♦ **RELATION** =    / 'ACIER' ,  
                          / 'ZIRC' ,  
  
/    'ACIER'

Sert à spécifier l'exécution du calcul des transformations métallurgiques de l'acier, aux environs de 800°C, d'une phase ferritique (ferrite, perlite, bainite, martensite) à une phase austénitique (et inversement au refroidissement). Le modèle au chauffage et au refroidissement sont différents (pour plus de détail sur les modèles, voir R4.04.01).

Cette relation de comportement comporte 7 variables internes :

- V1 : proportion de la phase ferrite,
- V2 : proportion de la phase perlite,
- V3 : proportion de la phase bainite,
- V4 : proportion de la phase martensite,
- V5 : taille de grain austénitique,
- V6 : température de transformation martensitique,
- V7 : température aux points de Gauss.

Les données matériaux nécessaires doivent être renseignées dans **DEFI\_MATERIAU** sous le mot-clé **META\_ACIER**.

- /    'ZIRC'

Sert à spécifier l'exécution du calcul pour la transformation métallurgique (au refroidissement) des alliages de zirconium, d'une phase hexagonale compacte à une phase cubique centrée aux environs de 800°C (pour plus de détail sur le modèle, voir R4.04.01).

La relation de comportement comporte 3 variables internes :

- V1 : proportion de la phase à froid  $\alpha$ , à l'état pur,
- V2 : proportion de la phase à froid  $\alpha$ , mélangé à la phase  $\beta$ ,
- V3 : température aux points de Gauss.

Les données matériaux nécessaires doivent être renseignées dans **DEFI\_MATERIAU** sous le mot-clé **META\_ZIRC**.

### 3.3.2 Opérandes TOUT / GROUP\_MA / MAILLE

```
◇ / TOUT      = 'OUI' ,  
  / GROUP_MA  = lgrma ,  
  / MAILLE    = lma   ,
```

Spécifient les mailles sur lesquelles le modèle est utilisé et permet d'affecter le calcul que sur une sous partie du maillage total.

### 3.4 Mot clé ETAT\_INIT

- ◆ ETAT\_INIT =  
Etat métallurgique initial.

#### 3.4.1 Opérande META\_INIT

```
/ META_INIT = phasinit
```

Définit l'affectation du champ de variables internes initial constant par élément à partir d'une carte définie par *CREA\_CHAMP*. Seules les variables dont l'affectation initiale a un sens sont à renseigner. On ne renseigne donc que les variables correspondant à une proportion de phase, plus éventuellement celle correspondant à la taille de grain austénitique si elle n'est pas nulle.

#### 3.4.2 Opérandes EVOL\_THER / NUME\_INIT / INST\_INIT / PRECISION / CRITERE

```
/ ◆ EVOL_THER =  temper ,  
  ◆ / NUME_INIT =  nuini_temper ,
```

Concept de type *evol\_ther* et numéro d'ordre définissant un état à partir duquel un calcul sera poursuivi.

```
◆ / NUME_INIT= nuini_temper ,  
  / INST_INIT= to ,  
    ◇ PRECISION= PREC ,  
    ◇ CRITERE= / 'RELATIF' ,  
              / 'ABSOLU' ,
```

Définit le concept *evol\_ther* dans lequel on va extraire l'état initial à partir duquel le calcul sera effectué. Ce concept doit contenir des grandeurs métallurgiques.

La définition de l'état initial peut se faire par numéro d'ordre stocké ou par instant associé au calcul.

*NUME\_INIT* permet la définition à partir du numéro d'ordre stocké et *INST\_INIT* permet la définition à partir de l'instant de calcul.

Dans ce cas, *PRECISION* et *CRITERE* permettent de définir la précision et le critère selon lesquels l'extraction sera réalisée.

### 3.5 Opérande OPTION

```
◇ OPTION = 'META_ELNO_TEMP'
```

L'option *'META\_ELNO\_TEMP'* permet de calculer la métallurgie aux nœuds à partir des résultats aux points de Gauss.

## 4 Exemple

### 4.1 Calcul métallurgique pour un acier avec prise en compte de la taille de grain (cas test mtlp102a)

```

DEBUT ( Code          = _F ( Nom = 'MTLP102A' ) )

% DEFINITION DES CARACTERISTIQUES DU MATERIAU

trcmnda = DEFI_TRC( HIST_EXP = ( _F (
    VALE = ( -1.000D-01, 1.000D+01, 0.000D+00, 0.000D+00,
              0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00,
              0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 8.300D+02,
              0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 7.591D+02,
              1.000D-02, 0.000D+00, 0.000D+00, 7.550D+02,
              6.700D-01, 0.000D+00, 0.000D+00, 6.200D+02,
              6.800D-01, 0.000D+00, 0.000D+00, 6.159D+02,
              6.800D-01, 0.000D+00, 0.000D+00, 5.247D+02,
              6.800D-01, 0.000D+00, 1.000D-02, 5.150D+02,
              6.800D-01, 0.000D+00, 3.100D-01, 3.700D+02,
              6.800D-01, 0.000D+00, 3.200D-01, 3.603D+02 ) )

    _F ( VALE = ( -1.000D+00, 1.000D+01, 0.000D+00, 0.000D+00,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 8.300D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 7.586D+02,
                  1.000D-02, 0.000D+00, 0.000D+00, 7.500D+02,
                  2.900D-01, 0.000D+00, 0.000D+00, 6.300D+02,
                  3.000D-01, 0.000D+00, 0.000D+00, 6.214D+02,
                  3.000D-01, 0.000D+00, 0.000D+00, 5.853D+02,
                  3.000D-01, 0.000D+00, 1.000D-02, 5.800D+02,
                  3.000D-01, 0.000D+00, 6.900D-01, 4.000D+02,
                  3.000D-01, 0.000D+00, 7.000D-01, 3.947D+02 ) )

    _F ( VALE = ( -1.000D+01, 1.000D+01, 0.000D+00, 0.000D+00,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 8.300D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 5.994D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 1.000D-02, 5.950D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 9.000D-01, 4.000D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 9.100D-01, 3.956D+02 ) )

    _F ( VALE = ( -6.000D+01, 1.000D+01, 0.000D+00, 0.000D+00,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 8.300D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 0.000D+00, 5.094D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 1.000D-02, 5.000D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 1.900D-01, 4.150D+02,
                  0.000D+00, 0.000D+00, 2.000D-01, 4.056D+02 ) )

    TEMP_MS = _F ( SEUIL = 4.500D-01,
                    AKM   = -3.125D+01,
                    BKM   = 1.406D+01,
                    TPLM  = -3.497D+00 ),

    GRAIN_AUST = _F ( DREF = 11.00D-6,
                      A     = 11200. )

)

```

Titre : *Opérateur CALC\_META*

Date : 28/01/03

Auteur(s) : **A. RAZAKANAIVO, F. WAECKEL**

Clé : U4.85.01-B Page : 6/8

```
acier = DEFI_MATERIAU (

    THER          = _F (    RHO_CP  = 5260000.0,    LAMBDA = 33.5, )

    META_ACIER    = _F (    TRC      = trcmnda,      AR3      = 830.0,
                          ALPHA    = -0.0306,        MS0      = 400.0,
                          AC1      = 724.0,          AC3      = 846.0,
                          TAUX_1   = 0.034,          TAUX_3   = 0.034,
                          LAMBDA0  = 0.117,          GSR_K    = 37500.,
                          D10=3.31,                  WSR_K    = 12860., )
    )

mail = LIRE_MALLAGE ( )

chmat = AFFE_MATERIAU ( Maillage = mail,
                        AFPE = _F ( TOUT = 'OUI' , MATER = acier )
                        )

moth = AFFE_MODELE ( MAILLAGE = mail,
                    AFPE = _F ( TOUT = 'OUI' ,
                                MODELISATION = 'PLAN' ,
                                PHENOMENE = 'THERMIQUE' )
                    )

% définition de l'évolution thermique imposée

timpol = DEFI_FONCTION ( NOM_RESU = 'TEMP' ,
                        NOM_PARA = 'INST' ,
                        VALE = ( 0.0 , 700.0 ,
                                200.0 , 900.0 ,
                                1100.0 , 900.0 ,
                                1900.0 , 100.0 )
                        )

chth1 = AFFE_CHAR_THER_F ( MODELE = moth,
                          TEMP_IMPO = _F ( TOUT = 'OUI' ,
                                              TEMP = timpol )
                          )

lr8 = DEFI_LIST_REEL ( DEBUT = 0. ,
                      INTERVALLE = _F ( JUSQU_A = 1900.0 , NOMBRE = 950 )
                      )

phasinit = CREA_CHAMP ( OPERATION='AFPE' , TYPE_CHAM='CART_VAR2_R' ,
                      MAILLAGE = mail,
                      AFPE = _F ( TOUT = 'OUI' ,
                                  NOM_CMP = ( 'V1','V2','V3','V4','V5' ) ,
                                  VALE = ( 0.7,0.0,0.3,0.0,0. ) ) ,
                      )

tempe = THER_LINEAIRE ( MODELE = moth , CHAM_MATER = chmat ,
                      EXCIT = _F ( CHARGE = chth1 ) ,
                      INCREMENT = ( LIST_INST = lr8 ) ,
                      TEMP_INIT = ( VALE = 700 ) ,
                      )

tempe = CALC_META ( reuse = tempe,
                  MODELE = moth , CHAM_MATER = chmat ,
                  RESULTAT = tempe ,
                  ETAT_INIT = _F ( META_INIT = phasinit ) ,
                  COMP_INCR = ( RELATION = 'ACIER' ,
                                TOUT = 'OUI' )
                  )
```

Titre : *Opérateur CALC\_META*

Date : 28/01/03

Auteur(s) : **A. RAZAKANAIVO, F. WAECKEL**

Clé : U4.85.01-B

Page : 7/8

```
% extraction des grandeurs métallurgiques à l'instant 200 secondes
```

```
PHAS_0      =CREA_CHAMP( OPERATION='EXTR' , TYPE_CHAM='ELGA_VARI_R' ,  
                        RESULTAT=TEMPE ,  
                        NOM_CHAM   = 'META_ELGA_TEMP' ,  
                        INST       = 200.0  
                        )
```

```
FIN()
```

## 4.2 Calcul métallurgique pour un zircaloy

```
DEBUT ( CODE      = _F( NOM = 'MTLP101A' ) )
```

```
% DEFINITION DES CARACTERISTIQUES DU MATERIAU
```

```
MAIL=LIRE_MAILLAGE()
```

```
ZIRCALOY = DEFI_MATERIAU ( THER = _F ( RHO_CP= 2000000.0 , LAMBDA = 9999.9 ) ,  
                           META_ZIRC=_F(TDEQ=809., K=1.135E-2, N=2.187,  
                                         TDC=831.,   QSR_K=14614. ,  
                                         AC=1.58E-4,   M=4.7 ,  
                                         TDR=949.1,   AR=-5.725, BR = 0.05  
                           )  
                           )
```

```
CHMAT = AFFE_MATERIAU ( MAILLAGE = MAIL,  
                       AFFE      =_F ( TOUT = 'OUI' , MATER = ZIRCALOY)  
                       )
```

```
MOTH = AFFE_MODELE ( MAILLAGE = MAIL,  
                   AFFE      = _F ( TOUT      = 'OUI' ,  
                                   MODELISATION = 'AXIS' ,  
                                   PHENOMENE   = 'THERMIQUE' )  
                   )
```

```
TFONC = DEFI_FONCTION (      NOM_PARA   = 'INST' ,  
                           NOM_RESU    = 'TEMP' ,  
                           VALE       = (0.0,20.0,120.0, 1200.,240.,20.)  
                           )
```

```
TIMPO = AFFE_CHAM_NO (MAILLAGE = MAIL ,  
                     GRANDEUR = 'TEMP_F' ,  
                     AFFE = _F (TOUT = 'OUI' ,  
                               NOM_CMP = 'TEMP' ,  
                               VALE_F = TFONC  
                     )  
                     )
```

```
LR8 = DEFI_LIST_REEL ( DEBUT= 0. ,  
                      INTERVALLE = (_F( JUSQU_A= 120.0 , NOMBRE= 60 ) ,  
                                     _F ( JUSQU_A= 240.0 , NOMBRE= 60 ))  
                      )
```

```
PHASINIT = CREA_CHAMP ( TYPE_CHAM = 'CART_VAR2_R' , OPERATION = 'AFFE',  
                      MAILLAGE = MAIL ,  
                      AFFE = _F ( TOUT      = 'OUI' ,  
                                  NOM_CMP = ('V1' , 'V2' , 'V3' ) ,  
                                  VALE     = ( 1.0 , 0.0 , 0.0 ) )  
                      )
```

Titre : *Opérateur CALC\_META*

Date : 28/01/03

Auteur(s) : **A. RAZAKANAIVO, F. WAECKEL**

Clé : U4.85.01-B

Page : 8/8

```
TEMPE = CREA_RESU ( TYPE_RESU = 'EVOL_THER' , OPERATION = 'AFFE' ,
                    NOM_CHAM   = 'TEMP' ,
                    AFFE        = _F ( CHAM_GD   = TIMPO ,
                    LIST_INST = LR8      )
                )

TEMPE = CALC_META ( reuse = TEMPE ,
                  MODELE   = MOTH ,
                  RESULTAT  = TEMPE ,
                  CHAM_MATER = CHMAT ,
                  ETAT_INIT = _F(META_INIT= PHASINIT ) ,
                  COMP_INCR  = _F(RELATION= 'ZIRC' ,
                  TOUT      = 'OUI'          )
                )

FIN( )
```