
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 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]

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

    ◆ RESULTAT = temper,                            [evol_ther]

    ◆ ETAT_INIT = _F (
        ◆ / META_INIT_ELNO = phasinit,              [carte]

        / EVOL_THER = temper                        [evol_ther]
        ◆ / NUME_INIT = nuini_temper,               [I]
          / INST_INIT = to,                         [R]
            ◇ / CRITERE = 'RELATIF'                 [DEFAULT]
              ◇ PRECISION = / 1.E-6                [DEFAULT]
                / prec                             [R]
            / CRITERE = 'ABSOLU'
              ◆ PRECISION = / prec                  [R]
          ),

    ◆ COMPOTEMENT = _F (
        ◆ RELATION = / 'ACIER',
          / 'ZIRC',
        ◇ / TOUT = 'OUI',                           [DEFAULT]
          / GROUP_MA = lgrma,                        [l_gr_maille]
          / MAILLE = lma ,                          [l_ma]
        ),

    ◇ OPTION = | 'DURT_ELNO',
                | 'DURT_NOEU',
                | 'META_ELNO',
                | 'META_NOEU',

    )
```

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 Sélection des mailles concernées par le calcul

Les mots clés `TOUT`, `GROUP_MA` et `MAILLE` permettent à l'utilisateur de choisir les mailles sur lesquelles il souhaite faire ses calculs élémentaires de post-traitement.

```
/ TOUT = 'OUI'
```

Toutes les mailles (porteuses d'éléments finis) seront traitées. C'est la valeur par défaut.

```
/ | GROUP_MA = l_grma  
| MAILLE = l_maille
```

Seules les mailles incluses dans `l_grma` et/ou `l_maille` seront traitées..

3.4 Mot clé COMPORTEMENT

- ♦ `COMPORTEMENT =`
Renseigne le modèle d'évolution métallurgique utilisé. On ne peut utiliser qu'un modèle d'évolution par calcul.

3.4.1 Opérande RELATION

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

```
/ 'ACIER'
```

Sert à spécifier l'exécution du calcul des transformations métallurgiques de l'acier, aux environs de $800^{\circ}C$, 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 aux points de Gauss.

V7 : température de transformation martensitique,

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 α

$V2$: initialement sans signification et obligatoirement nul ; pour un post-traitement, la fraction de phase α est donnée par $V1 + V2$

$V3$: température aux nœuds

$V4$: temps correspondant soit à la température de début de transformation à l'équilibre si la fraction de phase α vaut 1 initialement, soit à la température de fin de transformation à l'équilibre si la fraction de phase α vaut 0 initialement. . Cette variable est utilisée pour calculer la vitesse au chauffage, respectivement au refroidissement (méthode la sécante glissante), qui sert à déterminer les températures de début de transformation au chauffage ou au refroidissement.

Les données matériaux nécessaires doivent être renseignées dans DEF1_MATERIAU sous le mot-clé META_ZIRC.

3.4.2 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.

3.5 Mot clé ETAT_INIT

```
◆ ETAT_INIT =  
  
◆ / META_INIT_ELNO = phasinit,  
  / EVOL_THER      = temper
```

État métallurgique initial.

3.5.1 Opérande META_INIT_ELNO

```
/ META_INIT_ELNO = 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.

Dans le cas de 'ACIER', on renseigne obligatoirement $V1$, $V2$, $V3$, $V4$ et $V5$ sinon le code s'arrête en erreur fatale.

Dans le cas de 'ZIRC', on renseigne obligatoirement $V1$, $V2$ (égale à 0 obligatoirement) et $V4$ sinon le code s'arrête en erreur fatale.

3.5.2 Opérandes EVOL_THER / NUME_INIT / INST_INIT / PRECISION / CRITERE

```
/ EVOL_THER = temper  
  ◆ / NUME_INIT = nuini_temper,  
    / INST_INIT = to,  
    ◇ / CRITERE = 'RELATIF'  
      ◇ PRECISION = / 1.E-6
```

```
                                / prec
/CRITERE ='ABSOLU'
  ♦ PRECISION = / prec
),
```

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. Si le `CRITERE = 'ABSOLU'` est choisi, il est obligatoire de renseigner le champ `PRECISION` ; pour `CRITERE = 'RELATIF'`, une précision de $1.E-6$ est donnée par défaut, et peut être éventuellement modifiée en renseignant le champ `PRECISION`.

3.6 Opérande OPTION

```
◇  OPTION =

|  'DURT_ELNO'
    Dureté aux nœuds par élément à partir des phases métallurgiques (cf. [R4.04.01]).

|  'DURT_NOEU'
    Dureté aux nœuds à partir des phases métallurgiques (cf. [R4.04.01]).

|  'META_ELNO'
    Proportion de phase métallurgique aux nœuds par éléments.

|  'META_NOEU'
    Proportion de phase métallurgique aux nœuds.
```

4 Exemple dans le cas d'un acier

```
# CREATION DU CHAMP DE VARIABLES INTERNES INITIAL (70% DE FERRITE ET 30% DE
BAINITE)

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

# CALCUL DE L'EVOLUTION THERMIQUE

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

# CALCUL DE L'EVOLUTION DES PHASES METALLURGIQUES

tempe = CALC_META ( reuse      = tempe,
                   MODELE      = moth,
                   CHAM_MATER  = chmat,
                   RESULTAT    = tempe,
```

```
ETAT_INIT  =_F(META_INIT_ELNO = phasinit),  
COMPORTEMENT  =(RELATION ='ACIER',  
TOUT          = 'OUI' ) )
```