

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.MK : MEKELEC
Document : U4.MK.20

Opérateur DEFI_THER_JOULE

1 But

Calculer l'évolution temporelle de la température due à l'effet JOULE d'un courant de court-circuit dans un câble conducteur.

On suppose un scénario de court-circuit classique : au moment du court-circuit, le conducteur (traversé par un courant de charge) est en équilibre thermique dans un milieu à une température connue ; après l'élimination du court-circuit, il n'est traversé par aucun courant jusqu'au réenclenchement.

La loi d'évolution est décrite au [§4].

On donne les instants de définition de la fonction, les caractéristiques du courant électrique parcourant le câble conducteur (intensité efficace, instants d'apparition et de disparition des courants), les températures initiale et ambiante et les grandeurs thermo-électriques du conducteur (chaleur spécifique volumique, coefficient de convection et résistivité).

Les fonctions produites servent ensuite à définir un champ aux nœuds de fonctions, par la commande `AFFE_CHAM_NO` [U4.44.11], puis un résultat de type `evol_ther`, par la commande `CREA_RESU` [U4.44.12], enfin une charge thermique, par la commande `AFFE_CHAR_MECA` [U4.44.01].

Produit un concept de type `fonction`.

2 Syntaxe

F1 [fonction] = DEFI_THER_JOULE

```
(  ♦  LIST_INST =          list_instant,          [listr8]

    ♦  INST_CC_INIT =      /  0.,          [DEFAULT]
                          /  inst_cc_init,    [R]

    ♦  INST_CC_FIN =       /  1.D10,        [DEFAULT]
                          /  inst_cc_fin,     [R]

    ♦  INST_RENC_INIT =    /  1.D10,        [DEFAULT]
                          /  inst_renc_init,   [R]

    ♦  INST_RENC_FIN =     /  1.D10,        [DEFAULT]
                          /  inst_renc_fin,    [R]

    ♦  TEMP_EXT_POSE =     /  15.,          [DEFAULT]
                          /  temp_ext_pose,    [R]

    ♦  TEMP_EXT =          /  15.,          [DEFAULT]
                          /  temp_ext,         [R]

    ♦  TEMP_RESI_REF =     /  20.,          [DEFAULT]
                          /  tref,            [R]

    ♦  PARA_COND_1D = (_F(

                                ♦  INTE_CC = /  0.,          [DEFAULT]
                                /  inte_cc,    [R]

                                ♦  INTE_RENC = /  0.,          [DEFAULT]
                                /  inte-renc, [R]

                                ♦  A =         /  1.,          [DEFAULT]
                                /  a,          [R]

                                ♦  SECTION = /  'CERCLE',      [DEFAULT]

                                ♦  RESI_RO = /  0.,          [DEFAULT]
                                /  ro,        [R]

                                ♦  RESI_R1 = /  0.,          [DEFAULT]
                                /  r1,        [R]

                                ♦  RHO_CP = /  1.,          [DEFAULT]
                                /  cp,        [R]

                                ♦  COEF_H =   /  40.,          [DEFAULT]
                                /  coef_h,    [R]

                                ♦  TEMP_INIT = /  15.,          [DEFAULT]
                                /  temp_init, [R]

                                ),),
    )
```

3 Opérandes

3.1 Opérande **LIST_INST**

♦ `LIST_INST = list_instant`

Concept de type `listr8` donnant la liste des instants où la fonction est calculée.

3.2 Opérande **INST_CC_INIT**

◇ `INST_CC_INIT = / 0.,`
`/ inst_cc_init,`

Instant d'apparition du courant de court-circuit. Il n'appartient pas forcément à la liste précédente.

3.3 Opérande **INST_CC_FIN**

◇ `INST_CC_FIN = / 1.D10,`
`/ inst_cc_fin,`

Instant d'élimination du courant de court-circuit. La très grande valeur par défaut sert lorsque le courant de court-circuit ne disparaît pas pendant la durée de l'analyse.

3.4 Opérande **INST_RENC_INIT**

◇ `INST_RENC_INIT = / 1.D10,`
`/ inst_renc_init,`

Instant d'apparition du courant de réenclenchement. La très grande valeur par défaut sert lorsqu'il n'y a pas de courant de réenclenchement pendant la durée de l'analyse.

3.5 Opérande **INST_RENC_FIN**

◇ `INST_RENC_FIN = / 1.D10,`
`/ inst_renc_fin,`

Instant de disparition du courant de réenclenchement.

3.6 Opérande **TEMP_EXT_POSE**

◇ `TEMP_EXT_POSE = / 15.,`
`/ temp_ext_pose,`

Température du câble lors de la pose.

3.7 Opérande **TEMP_EXT**

◇ `TEMP_EXT = / 15.,`
`/ temp_ext,`

Température de l'air ambiant au moment de l'analyse.

Si `TEMP_INIT` n'est pas défini, c'est aussi la température initiale du conducteur (cf. [§3.9.5]).

3.8 Opérande TEMP_RESI_REF

◇ TEMP_RESI_REF = / 20.,
 / tref,

Température de référence pour la résistivité. La valeur de la résistivité à la température T est :

$$\rho(T) = \rho_0 \left[1 + K (T - T_{ref}) \right] \quad \text{éq 3.8-1}$$

Les coefficients ρ_0 et K sont définis plus loin [§3.9.3].

3.9 Mot clé PARA_COND_1D

◆ PARA_COND_1D =

Sous ce mot-clé facteur, on définit les paramètres propres à un conducteur.

Il y a au moins une occurrence du mot-clé facteur PARA_COND_1D :

- s'il n'y en a qu'une, la fonction f_1 définit la température d'un **seul** conducteur,
- s'il y en a N, la fonction f_1 définit la température du nœud commun à N conducteurs. Cette température est prise égale à la moyenne des températures des N conducteurs adjacents.

La température définie par chaque occurrence de PARA_COND_1D est égale, à l'instant t :

- si $t < \text{INST_CC_INIT}$, à TEMP_EXT_POSE
- si $t \geq \text{INST_CC_INIT}$:
 - à TEMP_INIT, ou à TEMP_EXT si TEMP_INIT n'est pas définie, tant qu'aucune intensité de courant n'a parcouru le conducteur,
 - à une température calculée (phases d'échauffement séparées par des phases de refroidissement), à partir de l'apparition du premier courant.

3.9.1 Opérandes définissant les intensités de courants

◇ INTE_CC = / 0.,
 / inte_cc,

Intensité efficace du courant de court-circuit (en ampères).

◇ INTE_RENC = / 0.,
 / inte_renc,

Intensité efficace du courant de réenclenchement (en ampères).

3.9.2 Opérandes décrivant la forme du conducteur

◇ $A = \frac{1.}{a},$

Aire de la section transversale de conducteur.

◇ $SECTION = 'CERCLE'$

La section droite est un cercle plein.

3.9.3 Opérandes définissant la résistivité du conducteur

◇ $RESI_RO = \frac{0.}{ro},$

Valeur du coefficient ρ_0 de la formule [éq 3.8 - 1].

◇ $RESI_Rl = \frac{0.}{rl},$

Valeur du coefficient K de la formule [éq 3.8 - 1].

3.9.4 Opérande définissant les caractéristiques thermiques

◇ $RHO_CP = \frac{1.}{cp},$

Chaleur spécifique volumique du conducteur.

◇ $COEF_H = \frac{40.}{coef_h},$

Coefficient de convection entre la paroi du conducteur et l'air extérieur.

3.9.5 Opérande **TEMP_INIT**

◇ $TEMP_INIT = \frac{15.}{temp_init},$

Température initiale du conducteur, au moment où apparaît le court-circuit.

C'est la température du conducteur traversé par un courant de charge, en équilibre thermique dans un milieu de température connue (**TEMP_EXT**).

Si **TEMP_INIT** n'est pas défini, la température du conducteur, au moment du court-circuit, est prise à **TEMP_EXT**, ce qui revient au cas d'un conducteur sans courant, avant court-circuit.

4 Expression de l'évolution de la température avec le temps

A partir de la loi d'évolution de la résistivité ρ avec la température T :

$$\rho = \rho_0 \left[1 + K (T - T_{réf}) \right]$$

et en désignant par :

A : l'aire de la section du conducteur, supposé circulaire plein,

p : le périmètre de la section ($p = 2 \sqrt{\pi A}$),

C_v : la chaleur spécifique volumique du métal,

h : le coefficient de convection thermique avec l'extérieur,

T_{ext} : la température ambiante,

I_{eff} : l'intensité efficace du courant de court-circuit,

la température du conducteur est définie par une fonction du temps t :

- à l'échauffement, quand il est parcouru par le courant de court-circuit :

$$T = T_i e^{\left(\frac{b}{2}-c\right)(t-t_i)} + \frac{a+2d}{b-2c} \left(e^{\left(\frac{b}{2}-c\right)(t-t_i)} - 1 \right)$$

T_i étant la température à l'instant t_i et :

$$a = \frac{\rho_0}{C_v} (1 - K T_{réf}) \frac{2 I_{eff}^2}{A^2};$$

$$b = K \frac{\rho_0}{C_v} \frac{2 I_{eff}^2}{A^2};$$

$$c = \frac{h p}{A C_v}; \quad d = c T_{ext}$$

- au refroidissement, à partir de l'instant t_{fcc} de fin de court-circuit :

$$T = T_{fcc} e^{-c(t-t_{fcc})} + T_{ext} \left[1 - e^{-c(t-t_{fcc})} \right]$$

5 Exemple : échauffement d'un câble par effet JOULE

Extrait du fichier de commandes du cas-test HSNL100A

```
l_inst0 = DEFI_LIST_REEL ( DEBUT = -0.1,
                           INTERVALLE = (_F(JUSQU_A = 0.,    NOMBRE = 1),),
                           INTERVALLE = (_F(JUSQU_A = 40.,   NOMBRE = 8),),
                           )
F01 = DEFI_THER_JOULE = (
    LIST_INST      = l_inst0,
    INST_CC_INIT   = 0.D0,
    INST_CC_FIN    = 10.D0,
    INST_RENC_INIT = 20.D0,
    INST_RENC_FIN  = 30.D0,
    TEMP_EXT_POSE  = 12.D0,
    TEMP_EXT       = 1.D0,
    TEMP_RESI_REF  = 2.D0,
#
    PARA_COND_1D = (_F(
        INTE_CC      = 3.1415927D0,
        INTE_RENC    = 3.1415927D0,
        A            = 3.1415927D0,
        RESI_R0      = 4.D0,
        RESI_R1      = 0.5D0,
        RHO_CP       = 1.D0,
        COEF_H       = 0.5D0,
        TEMP_INIT    = 1.D0,
    ),
    _F(
        INTE_CC      = 3.1415927D0,
        INTE_RENC    = 3.1415927D0,
        A            = 3.1415927D0,
        RESI_R0      = 4.D0,
        RESI_R1      = 0.5D0,
        RHO_CP       = 1.D0,
        COEF_H       = 0.5D0,
        TEMP_INIT    = 1.D0,
    ),
),
#
F02 = DEFI_THER_JOULE = (
    LIST_INST      = l_inst0,
    TEMP_EXT       = 33.D0,
    PARA_COND_1D   = (_F( TEMP_INIT = 10.D0 ),
                      _F( TEMP_INIT = 20.D0 ),),
)
```

Les fonctions F01 et F02 sont définies sur l'intervalle $[-0.1, 40]$ (l_inst0).

La fonction F01 est égale à :

- si $t = -0.1 : 12$ (TEMP_EXT_POSE)
- si $t \geq 0$ (INST_CC_INIT) : c'est la moyenne de deux fonctions identiques, car le mot-clé facteur PARA_COND_1D figure deux fois, avec les mêmes arguments, sous DEFI_THER_JOULE.

Cette fonction est la température d'un câble qui :

- s'échauffe par l'effet d'un courant de court-circuit à partir de la température `TEMP_INIT` de 3.14A (`INTE_CC`) de l'instant 0 (`INST_CC_INIT`) à l'instant 10. (`INST_CC_FIN`),
- se refroidit de l'instant 10. à l'instant 20.,
- s'échauffe par l'effet d'un courant de réenclenchement de 3.14A (`INTE_RENC`) de l'instant 20. (`INST_RENC_INIT`) à l'instant 30. (`INST_RENC_FIN`),
- se refroidit de l'instant 30. à l'instant 40.

La fonction F02, ou `INST_CC_INIT = 0` **par défaut**, est égale à :

- si $t = -0.1$: la température est 15 (`TEMP_EXT_POSE`, **par défaut**),
- si $t \geq 0$, c'est la moyenne des `TEMP_INIT` définies sous les deux `PARA_COND_1D`, c'est-à-dire 15. Aucune intensité de courant ne vient en effet modifier ces températures initiales.