

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées
Document : U4.83.02

Opérateur *CALC_FATIGUE*

1 But

Calculer un champ de dommage de fatigue subi par une structure et déterminer le plan critique dans lequel le cisaillement est maximal.

Calcul d'un champ de dommage : à partir d'une histoire de contraintes équivalentes (contraintes de von Mises signées) ou de déformations équivalentes (invariant du second ordre signé) calculée aux nœuds ou aux points de Gauss et stockée dans un concept résultat de type *evol_elas*, *evol_noli* ou *dyna_trans*, on calcule un champ de grandeur qui contient le dommage subi par la structure en chaque nœud ou en chaque point de Gauss.

Pour ce faire, en chaque nœud ou en chaque point de Gauss, *CALC_FATIGUE* :

- lit dans la structure de données résultat la contrainte équivalente de von Mises signée (*VMIS_SG*) ou le second invariant signé (*INVA_2SG*),
- extrait par une méthode de comptage de cycles (méthode RAINFLOW) les cycles élémentaires de chargement (histoire de la contrainte équivalente ou de la déformation équivalente) subis par la structure,
- détermine le dommage élémentaire associé à chaque cycle élémentaire,
- détermine le dommage total subi par la structure par une règle de cumul linéaire en sommant les dommages élémentaires.

Plan critique et cisaillement maximal : à partir d'une histoire de contraintes calculée aux points de Gauss (*SIEF_ELGA*) et stockée dans un concept résultat de type *evol_elas* ou *evol_noli*, on calcule un champ de grandeur qui contient entre autre : la demi amplitude de cisaillement maximal, le vecteur normal associé, le nombre de cycle à la rupture et l'endommagement correspondant en chaque points de Gauss.

Produit un concept de type *cham_elem_DOMMAG* ou un concept *cham_elem_FACY_R*.

2 Syntaxe

```
CHAM [cham_elem*] = CALC_FATIGUE (

  ♦ TYPE_CALCUL = / 'CUMUL_DOMMAGE',
                  / 'FATIGUE_MULTII',

# Si TYPE_CALCUL == 'CUMUL_DOMMAGE' -> calcul du dommage

  # Choix de l'option de calcul

  ♦ OPTION = / 'DOMA_ELNO_SIGM' ,
              / 'DOMA_ELGA_SIGM' ,
              / 'DOMA_ELNO_EPSI' ,
              / 'DOMA_ELGA_EPSI' ,
              / 'DOMA_ELNO_EPME' ,
              / 'DOMA_ELGA_EPME' ,

  # Lecture de l'historique de contrainte ou de déformation

  ♦ HISTOIRE = _F(

    ♦ RESULTAT = res, / [evol_elas]
                                / [evol_noli]
                                / [dyna_trans]

    ♦ EQUI_GD = / 'VMIS_SG', [DEFAULT]
                / 'INVA_2_SG',

    )

  # Calcul du dommage

  ♦ DOMMAGE = / 'WOHLER',
              / 'MANSON_COFFIN',
              / 'TAHERI_MANSON',
              / 'TAHERI_MIXTE' ,

  ♦ MATER = mater, [mater]

  ◇ TAHERI_NAPPE = nappe, [fonction]

  ◇ TAHERI_FONC = fonc, [fonction]

# Finsi

# Si TYPE_CALCUL == 'FATIGUE_MULTII' -> Calcul du cisaillement maximal

  ♦ RESULTAT = res, / [evol_elas]
                    / [evol_noli]

  ♦ CHAM_MATER = cham_mater, [cham_mater]

  ♦ CRITERE = / 'MATAKE',

  ♦ METHODE = / 'CERCLE_EXACT',

# Finsi

  # Niveau d'impression

  ◇ INFO = / 1, [DEFAULT]
           / 2,

  ))
```

3 Opérandes

3.1 Mot clé OPTION

Ce mot clé facteur permet de spécifier le type de dommage à calculer :

- 'DOMA_ELNO_SIGM' pour le calcul du dommage aux nœuds à partir d'un champ de contraintes.
La structure de données résultat spécifiée sous le mot clé facteur RESULTAT doit contenir le champ de nom symbolique EQUI_ELNO_SIGM (calculable par CALC_ELEM), qui définit entre autre la valeur de la contrainte équivalente de von Mises signée (composante VMIS_SG) calculée aux nœuds.
- 'DOMA_ELGA_SIGM' pour le calcul du dommage aux points de Gauss à partir d'un champ de contraintes.
La structure de données résultat spécifiée sous le mot clé facteur RESULTAT doit contenir le champ de nom symbolique EQUI_ELGA_SIGM (calculable par CALC_ELEM), qui définit entre autre la valeur de la contrainte équivalente de von Mises signée (composante VMIS_SG) calculée aux points de Gauss.
- 'DOMA_ELNO_EPSI' pour le calcul du dommage aux nœuds à partir d'un champ de déformations.
La structure de données résultat spécifiée sous le mot clé facteur RESULTAT doit contenir le champ de nom symbolique EQUI_ELNO_EPSI, qui définit entre autre la valeur de l'invariant d'ordre 2 signé (composante INVA_2SG) calculée aux nœuds.
- 'DOMA_ELGA_EPSI' pour le calcul du dommage aux points de Gauss à partir d'un champ de déformations.
La structure de données résultat spécifiée sous le mot clé facteur RESULTAT doit contenir le champ de nom symbolique EQUI_ELGA_EPSI, qui définit entre autre la valeur de l'invariant d'ordre 2 signé (composante INVA_2SG) calculée aux points de Gauss.
- 'DOMA_ELNO_EPME' pour le calcul du dommage aux nœuds à partir d'un champ de déformations mécaniques, hors-thermique : $\varepsilon = B.u - \varepsilon_{th}$.
La structure de données résultat spécifiée sous le mot clé facteur RESULTAT doit contenir le champ de nom symbolique EQUI_ELNO_EPME (calculable par CALC_ELEM), qui définit entre autre la valeur de l'invariant d'ordre 2 signé (composante INVA_2SG) calculée aux nœuds.
- 'DOMA_ELGA_EPME' pour le calcul du dommage aux points de Gauss à partir d'un champ de déformations mécaniques, hors-thermique : $\varepsilon = B.u - \varepsilon_{th}$.
La structure de données résultat spécifiée sous le mot clé facteur RESULTAT doit contenir le champ de nom symbolique EQUI_ELGA_EPME, qui définit entre autre la valeur de l'invariant d'ordre 2 signé (composante INVA_2SG) calculée aux points de Gauss.

3.2 Mot clé facteur HISTOIRE

Ce mot clé facteur regroupe toute la phase de définition de l'histoire de chargement.

L'histoire de chargement est l'évolution d'une valeur de la contrainte ou de la déformation au cours du temps.

3.2.1 Opérande RESULTAT

♦ RESULTAT = res

Nom du concept résultat contenant les champs de contraintes ou les champs de déformations définissant l'histoire de chargement. Plus précisément, le concept résultat doit contenir l'un des champs de nom symbolique EQUI_ELNO_SIGM, EQUI_ELGA_SIGM, EQUI_ELNO_EPSI, EQUI_ELGA_EPSI, EQUI_ELNO_EPME ou EQUI_ELGA_EPME selon l'option de calcul désirée.

3.2.2 Opérande EQUI_GD

- ◆ EQUI_GD = / 'VMIS_SG',
/ 'INVA_2_SG'

Pour pouvoir calculer le dommage subi par une structure, par une méthode de Wöhler, de Manson-Coffin ou une méthode de Taheri, il faut disposer d'une histoire de chargement en contraintes ou en déformations "uniaxiale". Pour ce faire il faut transformer le tenseur de contraintes ou le tenseur de déformations en un champ uniaxial (scalaire) "équivalent".

- 'VMIS_SG' pour calculer le dommage à partir d'une histoire de chargement de type contrainte de von Mises signée,
- 'INVA_2_SG' pour calculer le dommage à partir d'une histoire de chargement de type invariant d'ordre 2 signé de la déformation.

3.3 Opérande DOMMAGE

Pour pouvoir calculer le dommage subi par une structure, il faut préalablement extraire les cycles élémentaires de l'histoire de chargement.

Pour cela de nombreuses méthodes sont disponibles. La méthode disponible dans *Code_Aster* pour le calcul du dommage par la méthode Wöhler ou Manson-Coffin, est la méthode de comptage des étendues en cascade ou méthode de Rainflow [R7.04.01].

Pour le calcul du dommage par les méthodes TAHERI_MANSON et TAHERI_MIXTE, on utilise la méthode de comptage dite naturelle qui consiste à générer des cycles dans l'ordre de leur application.

Une fois les cycles élémentaires extraits, cet opérande permet de spécifier la méthode de calcul du dommage pour chaque cycle élémentaire.

- ◆ DOMMAGE = / 'WOHLER'

Pour une histoire de chargement de type contraintes, le nombre de cycles à la rupture est déterminé par interpolation de la courbe de Wöhler du matériau pour un niveau de contrainte alternée donnée (à chaque cycle élémentaire correspond un niveau d'amplitude de contrainte

$$\Delta\sigma = |\sigma_{\max} - \sigma_{\min}| \text{ et une contrainte alternée } S_{alt} = 1/2 \Delta\sigma).$$

On ne peut utiliser la méthode WOHLER que pour les options 'DOMA_ELNO_SIGM' ou 'DOMA_ELGA_SIGM'. De plus, il faut que le concept resultat spécifié contienne respectivement le champ de nom symbolique EQUI_ELNO_SIGM ou EQUI_ELGA_SIGM (calculables par CALC_ELEM).

La courbe de Wöhler du matériau doit être introduite dans l'opérateur DEFI_MATERIAU [U4.43.01], sous une des trois formes possibles [R7.04.02] :

- fonction discrétisée point par point (mot clé FATIGUE, opérande WOHLER),
- forme analytique de Basquin (mot clé FATIGUE, opérandes A_BASQUIN et BETA_BASQUIN),
- forme "zone courante" (mot clé FATIGUE, opérandes E_REFE, A0, A1, A2, A3 et SL et mot clé ELAS opérande E).

- ◆ DOMMAGE = / 'MANSON_COFFIN'

Pour une histoire de chargement de type déformations, le nombre de cycles à la rupture est déterminé par interpolation de la courbe de Manson-Coffin du matériau pour un niveau de déformation alternée donné (à chaque cycle élémentaire correspond un niveau d'amplitude de déformation $\Delta\varepsilon = |\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}|$ et une déformation alternée $E_{alt} = 1/2 \Delta\varepsilon$).

On ne peut utiliser la méthode MANSON_COFFIN que pour les options 'DOMA_ELNO_EPSI' ou 'DOMA_ELGA_EPSI', 'DOMA_ELNO_EPME' ou 'DOMA_ELGA_EPME'. De plus, il faut que le concept resultat spécifié contienne respectivement le champ de nom symbolique EQUI_ELNO_EPSI, EQUI_ELGA_EPSI, EQUI_ELNO_EPME ou EQUI_ELGA_EPME (calculables par CALC_ELEM).

La courbe de Manson-Coffin doit être introduite dans l'opérateur DEFI_MATERIAU [U4.43.01] (mot clé FATIGUE, opérande MANSON_COFFIN).

◆ DOMMAGE = / 'TAHERI_MANSON'

Cette méthode de calcul du dommage ne s'applique qu'à des chargements de type déformation, c'est-à-dire pour les options 'DOMA_ELNO_EPSI', 'DOMA_ELGA_EPSI', 'DOMA_ELNO_EPME' ou 'DOMA_ELGA_EPME'. De plus, il faut que le concept résultat spécifié contienne respectivement le champ de nom symbolique EQUI_ELNO_EPSI, EQUI_ELGA_EPSI, EQUI_ELNO_EPME ou EQUI_ELGA_EPME (calculables par CALC_ELEM).

Soient n cycles élémentaires de demi amplitude $\frac{\Delta\epsilon_1}{2}, \dots, \frac{\Delta\epsilon_n}{2}$.

Le calcul du dommage élémentaire du premier cycle est déterminé par interpolation sur la courbe de Manson-Coffin du matériau.

Le calcul du dommage élémentaire des cycles suivants est déterminé par l'algorithme décrit ci-dessous :

- Si $\frac{\Delta\epsilon_{i+1}}{2} \geq \frac{\Delta\epsilon_i}{2}$

le calcul du dommage élémentaire du cycle $(i+1)$ est déterminé par interpolation sur la courbe de Manson-Coffin.

- Si $\frac{\Delta\epsilon_{i+1}}{2} < \frac{\Delta\epsilon_i}{2}$

on détermine :

$$\frac{\Delta\sigma_{i+1}}{2} = F_{\text{NAPPE}}\left(\frac{\Delta\epsilon_{i+1}}{2}, \text{Max}_{j < i}\left(\frac{\Delta\epsilon_j}{2}\right)\right)$$

$$\frac{\Delta\epsilon_{i+1}^*}{2} = F_{\text{FONC}}\left(\frac{\Delta\sigma_{i+1}}{2}\right)$$

où F_{NAPPE} est une nappe introduite sous l'opérande TAHERI_NAPPE.

F_{FONC} est une fonction introduite sous l'opérande TAHERI_FONC.

La valeur du dommage du cycle $(i+1)$ est obtenue par interpolation de $\frac{\Delta\epsilon_{i+1}^*}{2}$ sur la courbe de Manson-Coffin du matériau ($N_{\text{rupt}_{i+1}}$ = nombre de cycles à la rupture pour le cycle

$$(i+1) = \text{MANSON_COFFIN}\left(\frac{\Delta\epsilon_{i+1}^*}{2}\right) \text{ et } \text{Dom}_{i+1} = \text{dommage du cycle } (i+1) = \frac{1}{N_{\text{rupt}_{i+1}}}.$$

La courbe de Manson-Coffin doit être introduite dans l'opérateur DEFI_MATERIAU [U4.43.01] (mot clé FATIGUE, opérande MANSON_COFFIN).

Remarques :

- 1) La nappe introduite sous l'opérande *TAHERI_NAPPE* est en fait la courbe d'écrouissage cyclique avec pré-contrainte du matériau.
- 2) La fonction introduite sous l'opérande *TAHERI_FONC* est en fait la courbe d'écrouissage cyclique du matériau.
- 3) La nappe introduite sous l'opérande *TAHERI_NAPPE*, doit avoir 'X' et 'EPSI' comme paramètres.
- 4) La fonction introduite sous l'opérande *TAHERI_FONC*, doit avoir pour paramètre 'SIGM'.

♦ $\text{DOMMAGE} = / \text{'TAHERI_MIXTE'}$

Cette méthode de calcul du dommage ne s'applique qu'à des chargements de type déformation, c'est-à-dire pour les options 'DOMA_ELNO_EPSI', 'DOMA_ELGA_EPSI', 'DOMA_ELNO_EPME' ou 'DOMA_ELGA_EPME'. De plus, il faut que le concept résultat spécifié contienne respectivement le champ de nom symbolique EQUI_ELNO_EPSI, EQUI_ELGA_EPSI, EQUI_ELNO_EPME ou EQUI_ELGA_EPME (calculables par CALC_ELEM).

Soient n cycles élémentaires de demi amplitude $\frac{\Delta \varepsilon_1}{2}, \dots, \frac{\Delta \varepsilon_n}{2}$.

Le calcul du dommage élémentaire du premier cycle est déterminé par interpolation sur la courbe de Manson-Coffin du matériau.

Le calcul du dommage élémentaire des cycles suivants est déterminé par l'algorithme décrit ci-dessous :

- Si $\frac{\Delta \varepsilon_{i+1}}{2} \geq \frac{\Delta \varepsilon_i}{2}$

le calcul du dommage élémentaire du cycle $(i+1)$ est déterminé par interpolation sur la courbe de Manson-Coffin.

- Si $\frac{\Delta \varepsilon_{i+1}}{2} < \frac{\Delta \varepsilon_i}{2}$

on détermine :

$$\frac{\Delta \sigma_{i+1}}{2} = F_{\text{NAPPE}} \left(\frac{\Delta \varepsilon_{i+1}}{2}, \text{Max}_{j < i} \left(\frac{\Delta \varepsilon_j}{2} \right) \right)$$

où F_{NAPPE} est une nappe introduite sous l'opérande *TAHERI_NAPPE*.

La valeur du dommage du cycle $(i+1)$ est obtenue par interpolation de $\frac{\Delta \sigma_{i+1}}{2}$ sur la courbe de Wöhler du matériau ($N_{\text{rupt}_{i+1}}$ = nombre de cycles à la rupture pour le cycle $(i+1)$) = $\text{WOHLER} \left(\frac{\Delta \sigma_{i+1}}{2} \right)$ et Dom_{i+1} = dommage du cycle $(i+1) = \frac{1}{N_{\text{rupt}_{i+1}}}$.

Cette méthode nécessite la donnée des courbes de Wöhler et de Manson-Coffin du matériau, qui doivent être introduites dans l'opérateur *DEFI_MATERIAU* [U4.43.01] (mot clé facteur *FATIGUE*).

Remarques :

- 1) La nappe introduite sous l'opérande *TAHERI_NAPPE* est en fait la courbe d'écrouissage cyclique avec pré-contrainte du matériau.
- 2) La nappe introduite sous l'opérande *TAHERI_NAPPE*, doit avoir 'X' et 'EPSI' comme paramètres.

3.4 Opérande **MATER**

♦ *MATER* = *mater*

Permet de spécifier le nom du matériau *mater* créé par *DEFI_MATERIAU* [U4.43.01].

Le matériau *mater* doit contenir la définition de la courbe de Wöhler du matériau pour le calcul du dommage par les méthodes '*WOHLER*' et '*TAHERI_MIXTE*' et la définition de la courbe de Manson-Coffin du matériau pour le calcul du dommage par les méthodes '*MANSON_COFFIN*', '*TAHERI_MANSON*' et '*TAHERI_MIXTE*'.

3.5 Opérande **TAHERI_NAPPE**

Cet opérande permet de spécifier le nom d'une nappe $F_{NAPPE}\left(\frac{\Delta\varepsilon}{2}, \varepsilon_{MAX}\right)$ nécessaire au calcul du dommage par les méthodes '*TAHERI_MANSON*' et '*TAHERI_MIXTE*'.

La nappe doit avoir 'X' et 'EPSI' comme paramètres.

Remarque :

| Cette nappe est en fait la courbe d'écrouissage cyclique avec pré-contrainte du matériau.

3.6 Opérande **TAHERI_FONC**

Cet opérande permet de spécifier le nom d'une fonction $F_{FONC}\left(\frac{\Delta\sigma}{2}\right)$ nécessaire au calcul du dommage par la méthode '*TAHERI_MANSON*'.

Le paramètre de cette fonction doit être '*SIGM*'.

Remarque :

| Cette fonction est en fait la courbe d'écrouissage cyclique du matériau.

3.7 Opérande **RESULTAT**

♦ *RESULTAT* = *res*

Nom du concept résultat contenant les champs de contraintes définissant l'histoire de chargement. Plus précisément, le concept résultat doit contenir le champ de nom symbolique *SIEF_ELGA*.

3.8 Opérande **CHAM_MATER**

♦ *CHAM_MATER* = *cham_mater*

Permet de spécifier le nom du champ du matériau *cham_mater* créé par *AFFE_MATERIAU* [U4.43.03].

Le matériau *mater* défini avec la commande *DEFI_MATERIAU* et qui sert à l'affectation du matériau au maillage avec la commande *AFFE_MATERIAU* doit contenir la définition de la courbe de Wöhler ainsi que les informations nécessaires à la mise en œuvre du critère, cf. [§ 3.9].

3.9 Opérande CRITERE

♦ CRITERE = 'MATAKE'

Permet de spécifier le nom du critère que devra satisfaire la demi amplitude de cisaillement maximal.

Notation :

\mathbf{n}^* : normale au plan dans lequel l'amplitude de cisaillement est maximale ;

$\Delta\tau(\mathbf{n})$: demi amplitude de cisaillement dans un plan de normale \mathbf{n} ;

$N_{\max}(\mathbf{n})$: contrainte maximale normale sur le plan de normale \mathbf{n} ;

τ_0 : limite d'endurance en cisaillement pur alterné ;

d_0 : limite d'endurance en traction - compression pure alternée ;

Critère de MATAKE

$$\Delta\tau(\mathbf{n}^*) + a N_{\max}(\mathbf{n}^*) \leq b \quad \text{éq 3.9-1}$$

où a et b sont deux constantes données par l'utilisateur, elles dépendent des caractéristiques matériaux et valent :

$$a = \left(\tau_0 - \frac{d_0}{2} \right) / \frac{d_0}{2} \quad b = \tau_0.$$

En outre, nous définissons une contrainte équivalente au sens de MATAKE, notée $\sigma_{eq}(\mathbf{n}^*)$:

$$\sigma_{eq}(\mathbf{n}^*) = (\Delta\tau(\mathbf{n}^*) + a N_{\max}(\mathbf{n}^*)) \frac{f}{t},$$

où f/t représente le rapport des limites d'endurance en flexion et torsion alternées.

Pour plus d'informations, consulter le document [R7.04.01].

3.10 Opérande METHODE

♦ METHODE = 'CERCLE_EXACT'

Permet de spécifier le nom de la méthode qui sera utilisée pour calculer la demi amplitude de cisaillement maximal.

La méthode du 'CERCLE_EXACT' sert à déterminer le cercle circonscrit aux points qui se trouvent dans des plans de cisaillement. Cette méthode repose sur le procédé qui consiste à obtenir le cercle qui passe par trois points, cf. document [R7.04.01].

3.11 Opérande INFO

◇ INFO = / 1

Impression :

- aucune impression

/ 2

Impression :

- des paramètres du calcul du dommage (nombre des numéros d'ordre, nombre des points de calcul, type du calcul du dommage (contraintes, déformations), localisation du dommage (nœuds ou points de Gauss), type de la composante équivalente (VMIS_SG ou INVA_2SG), méthode d'extraction des cycles (RAINFLOW) et méthode de calcul du dommage (WOHLER ou MANSON_COFFIN ou TAHERI_MANSON ou TAHERI_MIXTE).
- point par point de l'histoire de chargement, des cycles extraits et de la valeur du dommage.
- du champ de dommage.

Les impressions sont faites dans le fichier MESSAGE.

4 Exemple

On pourra se reporter au test SZLZ105 pour ce qui concerne le dommage et le cumul de dommage et au test SSLV135 pour ce qui est relatif au cisaillement maximal et au plan critique.

4.1 Calcul de l'histoire de chargement équivalente

```
DEPL = CALC_ELEM (      reuse      = DEPL,
                        MODELE      = CPLAN,
                        CHAM_MATER  = MAT,
                        OPTION      = ( 'SIEF_ELGA_DEPL',
                                       'EPSI_ELGA_DEPL',
                                       'EQUI_ELGA_SIGM',
                                       'EQUI_ELGA_EPSI',
                                       'EQUI_ELNO_SIGM',
                                       'EQUI_ELNO_EPSI',
                                       ),
                        RESULTAT    = DEPL
                      )
```

4.2 Définition de la courbe de Wöhler du matériau et dommage associé

```
WOHL = DEFI_FONCTION (
    NOM_PARA      = 'SIGM',
    VALE          = ( 0. , 1000.,
                     10. , 0. , ),
    PROL_DROITE   = 'LINEAIRE',
    PROL_GAUCHE   = 'LINEAIRE',
    TITRE         = 'FONCTION DE WOHLER'
)
```

Définition du matériau

```
MATE = DEFI_MATERIAU (FATIGUE = _F (WOHLER = WOHL ) )
```

Calcul du dommage aux nœuds à partir de l'histoire de contrainte de von Mises signée (le chargement étant homogène à des contraintes, le dommage se calcule par interpolation sur une courbe de Wöhler du matériau).

```
DMG_WOHL = CALC_FATIGUE (
    TYPE_CALCUL   = 'CUMUL_DOMMAGE' ,
    OPTION        = 'DOMA_ELNO_SIGM',

    HISTOIRE      = _F ( RESULTAT = DEPL,
                        EQUI_GD   = 'VMIS_SG',
                        )

    DOMMAGE       = 'WOHLER' ,
    MATER         = MATE,
    INFO          = 2
)
```

4.3 Définition de la courbe de Manson_Coffin du matériau et dommage associé

```

MANS = DEFI_FONCTION (
    NOM_PARA      = 'EPSI',
    VALE          = ( 0., 1000.,
                     10., 0., ),
    PROL_DROITE   = 'LINEAIRE',
    PROL_GAUCHE   = 'LINEAIRE',
    TITRE         = 'FONCTION DE MANSON COFFIN'
)

# Définition du matériau

MAT1 = DEFI_MATERIAU (FATIGUE = _F (MANSON_COFFIN = MANS ) )

# Calcul du dommage aux noeuds à partir de l'histoire de la valeur de
# l'invariant d'ordre 2 signé (le chargement étant homogène à des
# déformations, le dommage se calcule par interpolation sur une courbe de
# Manson_Coffin du matériau).

DMG_MCOF = CALC_FATIGUE (
    TYPE_CALCUL = 'CUMUL_DOMMAGE',
    OPTION      = 'DOMA_ELNO_EPSI',
    HISTOIRE    = _F( RESULTAT = DEPL,
                     EQUI_GD   = 'INVA_2_SG',
                     ),
    DOMMAGE     = 'MANSON_COFFIN',
    MATER       = MAT1,
    INFO        = 2
)

```

4.4 Définition des courbes d'écrouissage cyclique et d'écrouissage cyclique avec pré-contrainte

```

F_NAPPE = DEFI_NAPPE (
    NOM_PARA      = 'X',
    PROL_DROITE   = 'LINEAIRE',
    PROL_GAUCHE   = 'LINEAIRE',
    PARA         = (0.5, 1.,),
    NOM_PARA_FONC = 'EPSI',
    DEFI_FONCTION = _F(
        PROL_DROITE = 'LINEAIRE',
        PROL_GAUCHE = 'LINEAIRE',
        VALE        = ( 0., 25.,
                       10., 525., ),
        )
    _F(
        PROL_DROITE = 'LINEAIRE',
        PROL_GAUCHE = 'LINEAIRE',
        VALE        = ( 0., 50.,
                       10., 550., ),
        ),
    TITRE = 'NAPPE de TAHERI' )

F_FONC = DEFI_FONCTION (
    NOM_PARA      = 'SIGM',
    PROL_DROITE   = 'LINEAIRE',
    PROL_GAUCHE   = 'LINEAIRE',
    PARA         = ( 0., 0.,
                     100., 10., ),
    TITRE         = 'FONCTION de TAHERI' )

```

4.5 Calcul du dommage par les méthodes 'TAHERI_MANSON' et 'TAHERI_MIXTE'

```

MAT2 = DEFI_MATERIAU (
    FATIGUE = _F (   WOHLER = WOHL,
                    MANSON_COFFIN = MANS ) )

DMG_TMA = CALC_FATIGUE (
    TYPE_CALCUL = 'CUMUL_DOMMAGE',

    OPTION      = 'DOMA_ELNO_EPSI',

    HISTOIRE    = _F(   RESULTAT = DEPL,
                        EQUI_GD   = 'INVA_2_SG'
                    )

    DOMMAGE     = 'TAHERI_MANSON',
    MATER       = MAT2,
    TAHERI_NAPPE = F_NAPPE,
    TAHERI_FONC  = F_FONC,
    INFO        = 2
                )

DMG_TMI = CALC_FATIGUE (
    TYPE_CALCUL = 'CUMUL_DOMMAGE',

    OPTION      = 'DOMA_ELNO_EPSI',

    HISTOIRE    = _F(   RESULTAT = DEPL,
                        EQUI_GD   = 'INVA_2_SG'
                    ),

    DOMMAGE     = 'TAHERI_MIXTE',
    MATER       = MAT2,
    TAHERI_NAPPE = F_NAPPE,
    INFO        = 2
                )

```

4.6 Calcul de la demi amplitude de cisaillement maximal par la méthode : 'CERCLE_EXACT'

```

ACIER = DEFI_MATERIAU ( ELAS      = _F( E      = 200000.,
                                         NU      = .3,
                                         ALPHA   = 0. ),
    FATIGUE      = _F( WOHLER   = WHOL, ),
    CISA_PLAN_CRIT = _F( MATAKE_A = 1.0,
                        MATAKE_B = 2.0,
                        ENDU_FT  = 1.5 )
                )

MAT = AFFE_MATERIAU ( MAILLAGE = CUBE,
    AFFE          = _F ( TOUT      = 'OUI',
                        MATER     = ACIER,
                        TEMP_REF  = 20. )
                )

FATI = CALC_FATIGUE ( TYPE_CALCUL = 'FATIGUE_MULTI',
    RESULTAT      = SOL,
    CHAM_MATER    = MAT,
    CRITERE       = 'MATAKE',
    METHODE       = 'CERCLE_EXACT'
                )

```