Opérateur POST_RUPTURE

1 But

Procéder à des post-traitements des tables de résultats issues des opérateurs CALC_G et POST_K1_K2_K3.

Les différentes opérations possibles sont :
- normalisation de l'abscisse curviligne,
- calcul de l'angle de bifurcation,
- comptage des cycles en fatigue,
- calcul de l'incrément d'avancée de fissure en fatigue,
- cumul des cycles en fatigue,
- pilotage de la propagation,
- calcul du facteur d'intensité de contrainte équivalent,
- calcul du $(\Delta K)_{eq}$ utilisé pour la propagation en amplitude variable,
- mise à zéro des valeurs négatives des facteurs d'intensité de contrainte K_1 et calcul des nouveaux taux de restitution G et/ou G_{IRWIN} par la formule d'Irwin.

Produit une structure de données table.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Table des Matières

1 But....1
2 Syntaxe....3
3 Opérandes....5
3.1 Opérandes génériques....5
3.1.1 Opérande TABLE....5
3.1.2 Opérande OPERATION....5
3.2 Opérandes pour l'opération 'ABSC_CURV_NORM'....5
3.2.1 Opérande NOM_PARA....5
3.3 Opérandes pour l'opération 'ANGLE_BIFURCATION'....5
3.3.1 Opérande NOM_PARA....5
3.3.2 Opérande CRITERE....5
3.4 Opérandes pour l'opération 'K_EQ'....6
3.4.1 Opérande NOM_PARA....6
3.4.2 Opérande CUMUL....6
3.5 Opérandes pour l'opération 'DELTA_K_EQ'....7
3.5.1 Opérande NOM_PARA....7
3.5.2 Opérande CUMUL....7
3.6 Opérandes pour l'opération 'COMPTAGE_CYCLES'....8
3.6.1 Opérande NOM_PARA....8
3.6.2 Opérande COMPTAGE....8
3.6.3 Opérande DELTA_OSCI....8
3.6.4 Opérandes COEF_MULT_MINI et COEF_MULT_MAXI....8
3.7 Opérandes pour l'opération 'LOI_PROPA'....9
3.7.1 Opérande NOM_PARA....9
3.7.2 Opérandes LOI, C, M, NOM_DELTA_K_EQ....9
3.8 Opérandes pour l'opération 'CUMUL_CYCLES'....9
3.8.1 Opérande NOM_PARA....10
3.8.2 Opérande CUMUL....10
3.9 Opérandes pour l'opération 'PILO_PROPA'....10
3.9.1 Opérandes delta_A_max et DELTA_N....10
3.10 Opérandes pour l'opération 'K1_NEGATIF'....10
3.10.1 Opérande mODELISATION....11
3.10.2 Opérande mATER....11

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Syntaxe

```
postrupt[table]  =  POST_RUPTURE(

♦  TABLE      =  tab,                                  [table]

♦  OPERATION =  /  'ABSC_CURV_NORM',
                /  'ANGLE_BIFURCATION',
                /  'LOI_PROPA'
                /  'COMPTAGE_CYCLES'
                /  'CUMUL_CYCLES'
                /  'PILO_PROPA'
                /  'K1_NEGATIF'

# si OPERATION   = 'ABSC_CURV_NORM'
◊   NOM_PARA    =  /  'ABSC_CURV_NORM'               [DEFAUT]
                   /  nom_para,                      [TXT]


# si OPERATION = 'ANGLE_BIFURCATION'
◊   NOM_PARA    =  /  'BETA'                         [DEFAUT]
                   /  nom_angle,                     [TXT]
◊   CRITERE  =  /  'SITT_MAX'                        [DEFAUT]
                /  'SITT_MAX_DEVER'
                /  'K1_MAX',
                /  'K2_NUL',
                /  'PLAN',

# si OPERATION = 'K_EQ'
◊   NOM_PARA    =  /  'K_EQ'                         [DEFAUT]
                   /  nom_cumul,                     [TXT]
◊   CUMUL    =  /  'CUMUL_G',                        [DEFAUT]
                   /  'LINEAIRE',
                   /  'QUADRATIQUE',
                   /  'MODE_I',

# si OPERATION = 'DELTA_K_EQ'
◊   NOM_PARA    =  /  'DELTA_K_EQ'                   [DEFAUT]
                   /  nom_cumul,                     [TXT]
◊   CUMUL    =  /  'CUMUL_G',                        [DEFAUT]
                   /  'QUADRATIQUE',
                   /  'MODE_I',


# si OPERATION = 'COMPTAGE_CYCLES'
♦   NOM_PARA    =  /  nom_para,                      [TXT]
♦   COMPTAGE    =  /  'RAINFLOW',
                   /  'RCCM',
                   /  'NATUREL',
                   /  'UNITAIRE'
◊   DELTA_OSCI  =  /  0.                            [DEFAUT]
                   /  delta,                         [R]
   # si COMPTAGE = 'UNITAIRE'
   ♦   COEF_MULT_MINI  =   cmini                     [R]
   ♦   COEF_MULT_MAXI  =   cmaxi                     [R]


# si OPERATION = 'LOI_PROPA'
◊   NOM_PARA          =  /  'DELTA_A'               [DEFAUT]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
                        /   nom_da,                     [TXT]
◊    NOM_DELTA_K_EQ  =  /   ' DELTA_K_EQ '              [DEFAUT]
                        /   nom_dkeq                    [TXT]
♦   /   LOI           =  /   'PARIS'                    [DEFAUT]
    /   C             =  C,                             [R]
    /   M             =  M ,                            [R]
    ◊   DELTA_K_SEUIL=   /   0. ,                       [DEFAUT]
                        /   val_seuil ,                 [R]
                  )


# si OPERATION = 'CUMUL_CYCLES'
◊    NOM_PARA     =   /   'DELTA_A'                     [DEFAUT]
                      /   nom_da,                       [TXT]
◊    CUMUL    =   'LINEAIRE'                           [DEFAUT]


# si OPERATION = 'PILO_PROPA'
♦    / DELTA_ A_MAX =    da,                            [R]
    /   DELTA_N      =    dn,                           [R]

# si OPERATION = 'K1_NEGATIF'
♦    MODELISATION    =   /   '3D'
                         /   'C_PLAN'
                         /   'D_PLAN'
                         /    'AXIS'
♦    MATER      = mat,                                 [materiau]
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Opérandes

3.1 Opérandes génériques

3.1.1 Opérande TABLE

♦ TABLE = tab, [table]

Cet opérande permet de choisir la table sur laquelle on effectue les opérations. Cette table provient soit de la commande CALC_G, soit de la commande POST_K1_K2_K3.

3.1.2 Opérande OPERATION

♦ OPERATION = / 'ABSC_CURV_NORM',
/ 'ANGLE_BIFURCATION',
/ 'LOI_PROPA'

Cet opérande permet de choisir l'opération à effectuer.
Pour une explication des différentes opérations, voir les paragraphes correspondants ci-dessous.

3.2 Opérandes pour l'opération 'ABSC_CURV_NORM'

L'opération 'ABSC_CURV_NORM' crée une nouvelle colonne dans la table en sortie, correspondant à l'abscisse curviligne normée le long du fond de fissure. Pour cela, il est nécessaire que la table en entrée contienne une colonne 'ABSC_CURV'. La table en entrée peut comporter plusieurs fonds de fissure. Elle peut contenir un ou plusieurs instants pour chacun des fonds de fissure.

3.2.1 Opérande NOM_PARA

◊ NOM_PARA = / 'ABSC_CURV_NORM' [DEFAUT]
/ nom_para, [TXT]

Cet opérande permet de choisir le nom de la nouvelle colonne créée.

3.3 Opérandes pour l'opération 'ANGLE_BIFURCATION'

L'opération 'ANGLE_BIFURCATION' crée une nouvelle colonne dans la table en sortie, correspondant à l'angle de bifurcation de la fissure qui est donné en degré. La table en entrée peut comporter plusieurs fonds de fissure. Elle peut contenir un ou plusieurs instants pour chacun des fonds de fissure.

3.3.1 Opérande NOM_PARA

◊ NOM_PARA = / 'BETA' [DEFAUT]
/ nom_angle, [TXT]

Cet opérande permet de choisir le nom de la nouvelle colonne créée.

3.3.2 Opérande CRITERE

◊ CRITERE = / 'SITT_MAX' [DEFAUT]
/ 'SITT_MAX_DEVER'
/ 'K1_MAX',

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

```
                    /   'K2_NUL',
                    /   'PLAN',
```

Cet opérande permet de choisir le critère de calcul de l'angle de bifurcation :

- 'SITT_MAX' : critère de la contrainte circonférentielle maximale (Maximal Hoop Stress criterion, [R7.02.05 §2.5.2]) c'est le critère par défaut. Il est calculé à partir des valeurs de $K1$ et $K2$. Il est disponible en 2D et en 3D.
- 'SITT_MAX_DEVER' : critère de la contrainte circonférentielle maximale (Maximal Hoop Stress criterion, [R7.02.13 §2.1]) avec prise en compte du mode III et calcul de l'angle de déversement.
- 'K1_MAX' , 'K2_NUL' :critères d'Amestoy, Bui et Dang-Van [R7.02.05 §2.5.1]. Ces 2 critères sont uniquement disponibles en 2D. L'angle est donné à 10 degrés près.

Attention, on constate que le critère 'K2_NUL' ne fonctionne pas pour un angle supérieur à $60°$.

- 'PLAN' : définit un angle nul.

3.4 Opérandes pour l'opération 'K_EQ'

L'opération 'K_EQ' crée une nouvelle colonne dans la table en sortie, correspondant au cumul des modes. Elle peut contenir un ou plusieurs instants, mais le module d'Young et le coefficient de Poisson dans le cas de cumul de type 'CUMUL_G' ou 'QUADRATIQUE' doivent être définis constant en temps.

3.4.1 Opérande NOM_PARA

```
◊   NOM_PARA     =   /   'K_EQ'                          [DEFAUT]
                     /   nom_cumul,                      [TXT]
```

Cet opérande permet de choisir le nom de la nouvelle colonne créée.

3.4.2 Opérande CUMUL

```
◊   CUMUL     =   /   'CUMUL_G'                    [DEFAUT]
                  /   'QUADRATIQUE',
                  /   'LINEAIRE',
                  /   'MODE_I',
```

Cet opérande permet de choisir la règle de cumul des mode:

- 'CUMUL_G' : c'est le cumul par défaut. Il est calculé à partir du taux de restitution d'énergie G des valeurs du module d'Young E et du coefficient de poisson ν . Il est disponible en 2D et en 3D.

$$\sqrt{\frac{G\,E}{1-\nu^2}}$$

- 'QUADRATIQUE' : Ce cumul est calculé à partir des valeurs du coefficient de poisson ν . Il est disponible en 2D et en 3D.
  En 2D, ce cumul s'écrit:

$$\sqrt{K1^2+K2^2}$$

  En 3D, ce cumul s'écrit:

$$\sqrt{K1^2+K2^2+\frac{K3^2}{1-\nu}}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- 'LINEAIRE' :
  En 2D, ce cumul s'écrit:

$$max(K1,0)+|K2|$$

  En 3D, ce cumul s'écrit:

$$max(K1,0)+|K2|+0,74|K3|$$

- 'MODE_I' : Ce cumul est disponible en 2D et en 3D et s'écrit:

$$K1$$

3.5 Opérandes pour l'opération 'DELTA_K_EQ'

L'opération 'DELTA_K_EQ' crée une nouvelle colonne dans la table en sortie, correspondant au cumul des modes. Elle peut contenir un ou plusieurs instants, mais le module d'Young et le coefficient de Poisson dans le cas de cumul de type 'CUMUL_G' ou 'QUADRATIQUE' doivent être définis constant en temps.

3.5.1 Opérande NOM_PARA

```
◊   NOM_PARA     =  /   'DELTA_K_EQ'                    [DEFAUT]
                    /   nom_cumul,                      [TXT]
```

Cet opérande permet de choisir le nom de la nouvelle colonne créée.

3.5.2 Opérande CUMUL

```
◊   CUMUL     =  /   'CUMUL_G'                          [DEFAUT]
                 /   'QUADRATIQUE',
                 /   'MODE_I',
```

Cet opérande permet de choisir la règle de cumul des mode:

- 'CUMUL_G' : c'est le cumul par défaut. Il est calculé à partir du taux de restitution d'énergie G des valeurs du module d'Young E et du coefficient de poisson ν. Il est disponible en 2D et en 3D.

$$\sqrt{\frac{G\,E}{1-\nu^2}}$$

- 'QUADRATIQUE' : Ce cumul est calculé à partir des valeurs du coefficient de poisson ν. Il est disponible en 2D et en 3D.
  En 2D, ce cumul s'écrit:

$$\sqrt{\Delta K1^2+\Delta K2^2}$$

  En 3D, ce cumul s'écrit:

$$\sqrt{\Delta K1^2+\Delta K2^2+\frac{\Delta K3^2}{1-\nu}}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- 'MODE_I' : Ce cumul est disponible en 2D et en 3D et s'écrit:

$$\Delta K1$$

3.6 Opérandes pour l'opération 'COMPTAGE_CYCLES'

L'opération 'COMPTAGE_CYCLES' permet de calculer les cycles liés à l'évolution d'une (ou plusieurs) quantité(s). Cette opération créée une nouvelle table, avec une colonne CYCLES et une colonne correspondant à la variation de la quantité comptée par cycle. La table en entrée peut comporter plusieurs fonds de fissure.

3.6.1 Opérande NOM_PARA

♦ NOM_PARA = / NOM_PARA , [TXT]

Cet opérande permet de choisir le nom de la quantité sur laquelle s'effectue le comptage des cycles. On peut éventuellement effectuer le comptage sur plusieurs quantités (par exemple $K1$, $K2$ et $K3$), sous réserve que l'on trouve le même nombre de cycles pour chaque quantité.

3.6.2 Opérande COMPTAGE

♦ COMPTAGE = / 'RAINFLOW',
/ 'RCCM',
/ 'NATUREL',
/ 'UNITAIRE'

Cette opérande permet de choisir la méthode comptage des cycles. À part pour le comptage UNITAIRE, on fait appel à la commande POST_FATIGUE. Pour plus d'informations sur les méthodes de comptages, voir la documentation [R7.04.01]. La table en entrée peut contenir un ou plusieurs instants, mais correspondant au même fond de fissure.

Le comptage UNITAIRE est un cas particulier pour les calculs élastiques linéaires. Dans ce cas, la table en entrée ne doit contenir qu'un seul instant et la variation de la quantité sera alors déterminée par les opérandes COEF_MULT_MINI et COEF_MULT_MAXI.

3.6.3 Opérande DELTA_OSCI

◊ DELTA_OSCI = / 0. [DEFAUT]
/ DELTA, [R]

voir documentation [U4.83.01]

3.6.4 Opérandes COEF_MULT_MINI et COEF_MULT_MAXI

♦ COEF_MULT_MINI = cmini [R]
♦ COEF_MULT_MAXI = cmaxi [R]

Pour le comptage unitaire, la variation de la quantité à compter est la suivante :
$\Delta q = q_u(cmaxi - cmini)$
où q est la quantité à compter, et q_u la valeur unitaire de cette quantité (seule valeur contenue dans la table en entrée).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.7 Opérandes pour l'opération 'LOI_PROPA'

L'opération 'LOI_PROPA' crée une nouvelle colonne dans la table en sortie, correspondant à l'avancée unitaire (c'est-à-dire pour un cycle) d'une fissure compte tenu d'une loi de propagation en fatigue. La table en entrée peut comporter plusieurs fonds de fissure. Elle peut contenir un ou plusieurs instants pour chacun des fonds de fissure.

3.7.1 Opérande NOM_PARA

```
◊   NOM_PARA        =  /  'DELTA_A'                [DEFAUT]
                       /  nom_da,                  [TXT]
```

Cet opérande permet de choisir le nom de la nouvelle colonne créée.

3.7.2 Opérandes LOI, C, M, NOM_DELTA_K_EQ

```
♦  /  LOI           =  /  'PARIS'                  [DEFAUT]
   /  C             =  C ,                         [R]
   /  M             =  M ,                         [R]
   ◊  DELTA_K_SEUIL =  /  0.                       [DEFAUT]
                       /  val_seuil ,              [R]

◊   NOM_DELTA_K_EQ  =  /  ' DELTA_K_EQ '           [DEFAUT]
                       /  nom_dkeq                 [TXT]
```

L'opérande LOI permet de spécifier la loi de propagation en fatigue choisie. Pour le moment, seule la loi de Paris est disponible. Cette loi s'écrit :

$$\frac{da}{dN}=C.\left(\Delta K_{eq}-\Delta K_{seuil}\right)^{m}$$

où C et m sont des coefficients matériaux, renseignés par les opérandes C et M. ΔK_{seuil} est le seuil de propagation, réglable par le paramètre optionnel DELTA_K_SEUIL, dont la valeur par défaut est de 0. Si $\Delta K_{eq}\leq\Delta K_{seuil}$, alors l'avancée est nulle.

La colonne dans la table d'entrée correspondant à ΔK_{eq} est spécifiée par l'opérande NOM_DELTA_K_EQ.

On calcule alors l'avancée unitaire ($\Delta N=1$ implicitement) :

$$\Delta a=C.\left(\Delta K_{eq}-\Delta K_{seuil}\right)^{m}$$

Remarque :

En mode I pur : ΔK_{eq} vaut ΔK_I . En mode mixte, ΔK_{eq} peut s'écrire $(\Delta K)_{eq}$ ou bien $\Delta(K_{eq})$, suivant les conventions. Ces deux quantités sont généralement différentes. Il existe cependant des cas de figure où ces deux quantités sont identiques :

- en mode 1 pur si $K1$ est toujours positif,
- en mode mixte en linéaire pour un cycle $(0-max)$.

3.8 Opérandes pour l'opération 'CUMUL_CYCLES'

L'opération 'CUMUL_CYCLES' permet de cumuler une quantité précédemment comptées pour chaque cycle en calculant la moyenne sur tous les cycles. La table créée contient toutes les colonnes de la table initiales, sauf la colonne CYCLE. Attention, en un point du fond, il faut que les autres colonnes de la table ne varient pas au cours des cycles. Le nom de la colonne correspondant à la quantité à cumul ne change pas.

La table en entrée peut comporter plusieurs fonds de fissure.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.8.1 Opérande NOM_PARA

```
◊  NOM_PARA  =  /  'DELTA_A'                    [DEFAUT]
                /  nom_da,                      [TXT]
```

Cet opérande permet de spécifier le nom du paramètre sur lequel s'effectue le cumul. Par défaut, on effectue le cumul sur 'DELTA_A'.

3.8.2 Opérande CUMUL

```
◊  CUMUL =  'LINEAIRE'              [DEFAUT]
```

Cet opérande ne sert pas pour l'instant, car le seul cumul autorisé est le cumul linéaire (moyenne arithmétique sur les cycles) :

$$q_{cumul}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} q_i$$

où q_i correspond à la valeur pour le cyle i de la quantité à cumuler.

3.9 Opérandes pour l'opération 'PILO_PROPA'

L'opération 'PILO_PROPA' permet de piloter la propagation de plusieurs fonds de fissure (pour le moment, limité à une seule fissure). Le pilotage se fait :

- soit en imposant l'incrément du nombre de cycles (pilotage en cycles) ;
- soit en imposant l'incrément d'avancée maximale du fond de fissure (pilotage en avancée).

Ce pilotage tient compte de tous les points de tous les fonds de toutes les fissures.

La table en entrée doit contenir le paramètre DELTA_A.

3.9.1 Opérandes DELTA_A_MAX et DELTA_N

```
♦  /  DELTA_ A_MAX  =   da,                 [R]
   /  DELTA_N       =   dn,                 [R]
```

Pour piloter la propagation en cycles, on utilise DELTA_N. Cela a pour effet de multiplier la valeur de l'avancée (unitaire) par un facteur dn pour tous les points de tous les fonds de toutes les fissures.
L'autre mode de pilotage consiste à fixer l'incrément d'avancée maximale da via l'opérande DELTA_A_MAX. Dans un premier temps, on détermine le point de tous les fonds de toutes les fissures qui possède l'avancée la plus élevée. Notons $damax$ cette avancée. Le nombre de cycles appliqué sera alors $\frac{da}{damax}$.

3.10 Opérandes pour l'opération 'K1_NEGATIF'

L'opération 'K1_NEGATIF' a pour but de traiter les points du fond pour lesquels le facteur d'intensité de contrainte $K1$ est négatif.
Pour ces points où les valeurs de $K1$ sont négatives, $K1$ est mis à zéro et les taux de restitution G et/ou G_{IRWIN} sont recalculés par la formule d'Irwin.

Si au moins un des deux taux de restitution est présent dans la table en entrée, cette dernière doit aussi contenir le paramètre $K2$ (et $K3$ en 3D).
La table d'entrée peut comporter plusieurs instants de calcul et plusieurs fonds de fissure.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.10.1 Opérande MODELISATION

♦ MODELISATION = / '3D'
/ 'C_PLAN'
/ 'D_PLAN'
/ 'AXIS'

Cet opérande permet de choisir la formule d'Irwin adaptée au type de modélisation employé.

Quand $K1$ est nul, la formule d'Irwin est :

En 3D :

$$G=\frac{1-\nu^2}{E}K2^2+\frac{1+\nu}{E}K3^2$$

En déformations planes et pour l'axisymétrie selon l'axe des Y :

$$G=\frac{1-\nu^2}{E}K2^2$$

En contraintes planes :

$$G=\frac{K2^2}{E}$$

où E est le module d'Young et ν le coefficient de poisson.

3.10.2 Opérande MATER

♦ MATER = mat, [materiau]

Cet opérande récupère le nom du matériau utilisé pour les calculs. Les paramètres matériau sont ensuite utilisés dans la formule d'Irwin pour recalculer le ou les taux de restitution. Le module d'Young et le coefficient de Poisson doivent être définis constant en temps.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)