

Manuel d'Utilisation
Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées
Document : U4.82.05

Opérateur POST_K1_K2_K3

1 But

Calculer les facteurs d'intensité des contraintes en 2D et 3D pour des fissures planes.

Cet opérateur permet de calculer K1, K2 en 2D (plan et axisymétrique) et K3 en 3D par extrapolation des sauts de déplacements sur les lèvres de la fissure. Cette méthode n'est applicable qu'au cas des fissures planes, dans des matériaux homogènes et isotropes.

La méthode utilisée est moins précise que le calcul à partir de la forme bilinéaire du taux de restitution de l'énergie et des déplacements singuliers, utilisable en 2D avec l'option `CALC_K_G` de l'opérateur `CALC_G_THETA_T` [U4.82.03]. Elle permet cependant d'obtenir facilement des valeurs approchées des facteurs d'intensité des contraintes, notamment dans le cas 3D, pour lequel la méthode des déplacements singuliers n'est opérationnelle qu'avec des éléments linéaires (option `CALC_K_G` de l'opérateur `CALC_G_LOCAL_T` [U4.82.04]).

Produit un concept de type `table`.

2 Syntaxe

```

tk [table] = POST_K1_K2_K3      (

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

    ♦  MATER =              mat ,                                [matériau]

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

        /  ♦  TABL_DEPL_SUP =      tdsup,                        [table]
          ◇  TABL_DEPL_INF =      tdinf,                        [table]

    ◇  /  TOUT_ORDRE   =   'OUI',
        /  NUME_ORDRE  =   lnuor,                                [L_I]
        /  LIST_ORDRE  =   lnuor,                                [listis]
        /  INST        =   l_inst,                                [l_R]
          ◇  PRECISION =   1.E-6,                                [DEFAULT]
              prec,
          ◇  CRITERE   =   /   'RELATIF',                        [DEFAULT]
                           /   'ABSOLU' ,
        /  LIST_INST   =   l_inst,                                [listR8]
          ◇  PRECISION =   1.E-6,                                [DEFAULT]
              prec,
          ◇  CRITERE   =   /   'RELATIF',                        [DEFAULT]
                           /   'ABSOLU' ,

    ◇  ABSC_CURV_MAXI=      dmax,                                [R]

    ♦  VECT_K1 =            (y1, y2, y3),                        [R]

    ◇  /  FOND_FISS =      fond,                                [fond_fiss]
        ◇  /  TOUT    =   'OUI',
            /  | NOEUD    =   noeud,                            [l_noeud]
            | GROUP_NO  =   gr_noeud,                            [l_gr_noeud]
            /  | SANS_NOEUD =   noeud,                            [l_noeud]
            | SANS_GROUP_NO=   gr_noeud,                            [l_gr_noeud]

        ♦  MAILLAGE =   ma,                                    [maillage]
        ◇  PREC_VIS_A_VIS =   /   1.E-1,                        [DEFAULT]
                                /   epsi,                        [R]

    ◇  SYME_CHAR =   /   'SANS',                                [DEFAULT]
                    /   'SYME',

    ◇  TITRE = titre ,                                [l_Kn]

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

    )

```

3 Opérandes

3.1 Opérande MODELISATION

```
◆   MODELLISATION = / '3D' ,  
                      / 'AXIS' ,  
                      / 'D_PLAN' ,  
                      / 'C_PLAN' ,
```

Permet de définir le type de calcul à effectuer : 3D (auquel cas on calculera K3) ou 2D. Cette modélisation doit être cohérente avec le modèle utilisé pour le calcul des déplacements.

3.2 Opérande MATER

◆ MATER = mat, [matériau]

Concept de type matériau contenant les caractéristiques élastiques du matériau fissuré
Le matériau doit être homogène, isotrope et élastique linéaire.

Dans le cas où les propriétés matériaux dépendent de la température (mot-clé `ELAS_FO` de `DEFI_MATERIAU`), le traitement est différent selon le type de modélisation :

- pour une modélisation 2D ('AXIS', 'D_PLAN', 'C_PLAN'), les caractéristiques matériaux sont obtenues à la température de référence TEMP_DEF_ALPHA de DEFI_MATERIAU ;
- pour une modélisation 3D ('3D'), si le mot clé RESULTAT est renseigné, alors les caractéristiques matériaux sont calculées à partir de la température des nœuds du fond de fissure ; si les mots clés TABL_DEPL_SUP/TABL_DEPL_INF sont renseignés, alors les caractéristiques matériaux sont calculées à partir de la température de référence TEMP_DEF_ALPHA de DEFI_MATERIAU.

Remarque :

En 3D, il est donc recommandé de renseigner le mot clé `RESULTAT` si les propriétés matériaux dépendent de la température.

3.3 Opérandes TABL DEPL SUP / TABL DEPL INF / RESULTAT

```

◆ / RESULTAT = resu,
/ ◆ TABL_DEPL_SUP = tdsup, [table]
  ◇ TABL_DEPL_INF = tdinf, [table]

```

Concepts de type table issus de POST_RELEVÉ_T contenant les déplacements des nœuds de la lèvre supérieure (tdsup) et ceux de la lèvre inférieure (tdinf).

En 2D, ces lèvres sont des segments de droites. td_{sup} et td_{inf} contiennent donc les valeurs des deux composantes du déplacement sur chacune des lèvres supérieure et inférieure. Les nœuds des lèvres doivent être ordonnés (du fond de fissure vers la lèvre de la fissure).

En 3D, `tdsup` et `tdinf` contiennent les déplacements de tous les nœuds des plans représentant les lèvres supérieure et inférieure.

Les deux tables `tdsup` et `tdinf` doivent être présentes simultanément sauf si on ne modélise que la moitié du solide par rapport à la fissure (`SYME_CHAR = 'SYME'`), auquel cas seule la table de déplacement de la lèvre supérieure est requise.

Pour éviter d'extraire les déplacements par `POST_RELEVÉ_T`, il est possible de fournir directement un concept `resultat` (mot clé `RESULTAT`).

3.4 Opérandes INST, LIST_INST, TOUT_ORDRE, NUME_ORDRE, LIST_ORDRE

Cf. [U4.71.00].

3.5 Opérande ABSC_CURV_MAXI

◇ ABSC_CURV_MAXI= dmax [R]

Distance maximum de calcul des facteurs d'intensité des contraintes à partir du fond de fissure. En pratique, la précision des résultats est moins bonne si on se situe très loin du fond de fissure [R7.02.08]. Il est donc conseillé de choisir dmax la plus petite possible (de l'ordre de 3 à 4 éléments, ou encore de l'ordre du rayon du maillage rayonnant, le cas échéant).

3.6 Opérande VECT_K1

◆ VECT_K1 = (y1, y2, y3) [R]

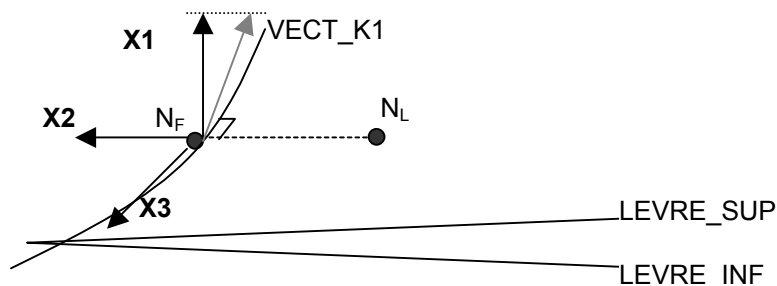
POST_KI_K2_K3 fonctionne pour une fissure plane et effectue le calcul des facteurs d'intensité des contraintes dans le plan normal à chaque nœud du fond de fissure.

Pour le calcul des facteurs d'intensité des contraintes, on définit un repère local pour chaque nœud du fond de fissure de la façon suivante :

- axe X1 : vecteur normal au plan de la fissure ;
- axe X2 : vecteur normal au fond de fissure ;
- axe X3 : vecteur tangent au fond de fissure.

Ces axes sont déterminés de la façon suivante :

- l'axe X2 est déterminé par l'orientation du vecteur reliant un nœud (N_L) situé sur une des faces de la fissure vers le nœud du fond de fissure, dans le plan normal à ce nœud (N_F) ;
- l'axe X1 est déduit de l'axe fourni par l'utilisateur par le mot clé VECT_K1. X1 doit être l'axe normal au plan de la fissure. L'utilisateur pouvant ne pas connaître très précisément la normale au plan de fissure, l'axe X1 est calculé en projetant le vecteur VECT_K1 sur le plan orthogonal à l'axe X2 :
 $X1 = VECT_K1 - (VECT_K1.X2) X2$;
- l'axe X3 est déterminé par le produit vectoriel (axe X1, axe X2).



Le vecteur VECT_K1 permet donc d'orienter l'axe X1, normal au plan de la fissure, en cohérence avec la définition des lèvres de la fissure LEVRE_INF et LEVRE_SUP.

Les déplacements dans ce repère local nous permettent de calculer :

- K1 : mode I d'ouverture, discontinuité de déplacement suivant l'axe X1 ;
- K2 : mode II de cisaillement plan, discontinuité de déplacement suivant l'axe X2 ;
- K3 : mode III de cisaillement antiplan, discontinuité de déplacement suivant l'axe X3.

3.7 Opérandes FOND_FISS / MAILLAGE / PREC_VIS_A_VIS / NOEUD / GROUP_NO / SANS_NOEUD / SANS_GROUP_NO

```

◇ / FOND_FISS= fond, [fond_fiss]
◆ MAILLAGE = ma, [maillage]
◇ PREC_VIS_A_VIS = / 1.D-1, [DEFAULT]
/ epsi, [R]
◇ / TOUT = 'OUI',
/ | NOEUD = noe, [l_noeud]
| GROUP_NO = gr_noeu, [l_gr_noeud]
/ | SANS_NOEUD = noe, [l_noeud]
| SANS_GROUP_NO = gr_noeu, [l_gr_noeud]

```

Pour une modélisation 3D, il est possible d'automatiser pour chaque nœud du fond de fissure la recherche des nœuds situés sur des segments normaux au fond de fissure et appartenant aux lèvres supérieure et inférieure, puis d'effectuer le calcul des facteurs d'intensité des contraintes.

Il faut pour cela fournir un concept `fond_fiss` créé par la commande `DEFI_FOND_FISS`, ainsi qu'une précision pour la recherche géométrique des nœuds situés sur les normales aux différents nœuds du fond de fissure. Il faut également fournir le nom du maillage sur lequel on effectue le post traitement.

Par défaut, le calcul des facteurs d'intensité de contraintes se fait uniquement sur les nœuds extrémités des mailles composant le fond de fissure (donc tous les nœuds pour les éléments linéaires, et un nœud sur deux pour les éléments quadratiques).

L'utilisateur a la possibilité de :

- sélectionner certains nœuds extrémités du fond de fissure (mots clés `NOEUD` et `GROUP_NO`) ;
- d'exclure des nœuds du fond de fissure (mots clés `SANS_NOEUD` et `SANS_GROUP_NO`) ;
- de faire le calcul sur tous les nœuds milieux et extrémités du fond de fissure (mot clé `TOUT`).

Lors de la recherche automatique pour chaque nœud du fond de fissure, l'opérateur sélectionne les nœuds vérifiant les trois conditions suivantes :

- distance D à la droite perpendiculaire au fond de fissure : $D < \text{epsi} \cdot d$, où d est la distance minimale entre deux nœuds successifs du fond de fissure ;
- distance R par rapport au fond de fissure : $R < \text{ABSC_CURV_MAXI}(1 + \text{epsi}/10)$;
- distance L par rapport à son vis-à-vis sur l'autre lèvre :
 $L < \text{epsi} \cdot \text{ABSC_CURV_MAXI}$.

où `epsi` est la valeur de la précision fournie (mot clé `PREC_VIS_A_VIS`). Par défaut `epsi` vaut 0,1. Augmenter la valeur de `epsi` revient à augmenter le nombre de nœuds potentiellement retenus pour le calcul.

3.8 Opérande SYME_CHAR

```

◇ SYME_CHAR = / 'SANS', [DEFAULT]
/ 'SYME',

```

Ce mot clé permet d'indiquer si le chargement est symétrique dans le cas où on ne modélise que la moitié du solide par rapport à la fissure. Les déplacements normaux des lèvres sont alors supposés opposés ($K1 \neq 0$) et les déplacements tangents égaux (soit $K2 = K3 = 0$).

3.9 Opérande INFO

```
◇ INFO = / 1, [ DEFAULT ]
```

Niveau de messages dans le fichier message : si `INFO` vaut 2, on fournit la liste de toutes les valeurs calculées pour tous les nœuds traités.

3.10 Opérande TITRE

◇ TITRE = titre,
Titre que l'on veut donner au résultat de la commande.

4 Précautions et conseils d'utilisation

4.1 Table produite

Trois méthodes différentes sont systématiquement utilisées pour réaliser le calcul de K en chaque nœud du fond de fissure [R7.02.08] :

- Méthode 1 : pour chaque nœud du segment d'interpolation, on calcule le saut du champ de déplacements au carré et on le divise par r . Différentes valeurs de $K1$ (resp. $K2$, $K3$) sont obtenues (à un facteur multiplicatif près) par extrapolation en $r = 0$ des segments de droites ainsi obtenus.
- Méthode 2 : on trace le saut du champ de déplacements au carré en fonction de r . Les approximations de $K1$ sont (toujours à un facteur multiplicatif près) égales à la pente des segments reliant l'origine aux différents points de la courbe.
- Méthode 3 : on identifie le facteur d'intensité de contrainte $K1$ (resp. $K2$, $K3$) à partir du saut de déplacement par une méthode des moindres carrés. On obtient une unique valeur de $K1$, $K2$ et $K3$ pour chaque nœud du fond de fissure.

La commande `POST_K1_K2_K3` produit un concept de type `table`. Cette table contient, pour chaque nœud du fond de fissure et pour chacune des 3 méthodes :

- la valeur maximale $K1_MAX$ et la valeur minimale $K1_MIN$ des facteurs d'intensité des contraintes en mode I calculés pour chaque nœud du segment d'interpolation;
- $K2_MAX$ et $K2_MIN$ pour le mode II ;
- $K3_MAX$ et $K3_MIN$ pour le mode III en 3D ;
- Le taux de restitution de l'énergie G (valeur maximale G_MAX et minimale G_MIN) calculé à partir des facteurs d'intensité des contraintes par la formule d'Irwin.

La table peut être imprimée par IMPR_TABLE [U4.91.03]. La méthode 3 ne produit qu'une seule valeur de K1, K2, K3 et G, les valeurs minimales et maximales correspondantes sont donc égales dans le tableau résultat.

Si INFO vaut 2, tous les calculs intermédiaires sont affichés dans le fichier message. On signale que la colonne intitulée SAUT_DX (resp. SAUT_DY et SAUT_DZ) dans les tableaux du fichier message correspond au saut de déplacement suivant l'axe X1 (resp. X2 et X3), multiplié par un coefficient dépendant du matériau (en 3D : $E\sqrt{2\pi} / 8(1-\nu^2)$), le tout au carré.

4.2 Précautions et conseils

Les hypothèses nécessaires à la validité de cette méthode sont :

- 1) la fissure est plane,
- 2) le comportement est élastique, linéaire, isotrope et homogène et la structure est isotherme,
- 3) on se place dans un plan normal au fond de fissure, supposé suffisamment régulier.

En pratique, le maillage devra comporter suffisamment de nœuds perpendiculairement au fond de fissure. D'autre part, les résultats sont nettement améliorés si dans le cas où le maillage est composé d'éléments quadratiques, on déplace les nœuds milieux (des arêtes qui touchent le fond de fissure), au quart de ces arêtes en les rapprochant du fond de fissure. Ceci est possible grâce au mot clé `MODI_MAILLE` (option '`NOEUD_QUART`') de la commande `MODI_MALLAGE` [U4.23.04].

La méthode utilisée est moins précise que la méthode des déplacements singuliers [R7.02.05]. On peut toutefois se faire une idée de la précision des résultats en comparant la valeur de G (fournie dans la table résultat et calculée à partir de $K1$, $K2$ et $K3$ par la formule d'Irwin) avec celle obtenue avec `CALC_G_THETA_T` [U4.82.03].

En 2D, les lèvres sont des segments de droites, et les nœuds doivent être ordonnés (du fond de fissure vers la lèvre de fissure).

Le calcul par interpolation des sauts de déplacement nécessite d'avoir au moins 3 nœuds sur la normale au fond de fissure. Si le nombre de nœuds n'est pas suffisant, une alarme est émise et le calcul se poursuit, le cas échéant, pour le nœud suivant du fond de fissure. On peut dans ce cas :

- soit augmenter l'abscisse curviligne maximale `ABSC_CURV_MAXI` pour aller chercher des nœuds plus éloignés du fond de fissure ;
- soit augmenter le paramètre `PREC_VIS_A_VIS`, ce qui revient à être moins exigeant dans la sélection des nœuds pour le calcul.

5 Exemple

Fissure circulaire dans un bloc 3D (test SSLV134D).

```
MA = LIRE_MALLAGE()
```

LEVINF1, LEVINFS sont les groupes contenant les mailles surfaciques situées sur les lèvres supérieure et inférieure de la fissure. On crée les groupes de nœuds associés :

```
MA = DEFI_GROUP ( MAILLAGE = MA,  
                  CREA_GROUP_NO = _F( GROUP_MA= ( 'LEVINF1', 'LEVINFS', ) ) )
```

Déplacement des nœuds au quart des arêtes :

```
MA = MODI_MALLAGE ( MAILLAGE = MA, reuse = MA,  
                   MODI_MAILLE = _F( OPTION = 'NOEUD_QUART',  
                                     GROUP_MA_FOND = 'LFF1' ) )
```

calcul avec MECA_STATIQUE....

```
FISS = DEFI_FOND_FISS ( MAILLAGE = MA,  
                        FOND_FISS = _F ( GROUP_MA = 'LFF1',  
                                         GROUP_NO_ORIG = 'NFF1',  
                                         GROUP_NO_EXTR = 'NFF2',  
                                         ),  
                        LEVRE_SUP = _F ( GROUP_MA = 'LEVINFS' ),  
                        LEVRE_INF = _F ( GROUP_MA = 'LEVINF1' ),  
                        DTAN_ORIG = ( 1. , 0. , 0. ),  
                        DTAN_EXTR = ( 0. , 1. , 0. ) )  
  
DEP_SUP = POST_RELEVE_T( ACTION = _F( INTITULE = 'TAB_SUP',  
                                       GROUP_NO = 'LEVINFS',  
                                       RESULTAT = RESU1,  
                                       NOM_CHAM = 'DEPL',  
                                       NOM_CMP = ( 'DX' 'DY' 'DZ' ),  
                                       OPERATION= 'EXTRACTION' ) )  
  
DEP_INF = POST_RELEVE_T( ACTION = _F( INTITULE = 'TAB_INF',  
                                       GROUP_NO = 'LEVINF1',  
                                       RESULTAT = RESU1,  
                                       NOM_CHAM = 'DEPL',  
                                       NOM_CMP = ( 'DX' 'DY' 'DZ' ),  
                                       OPERATION= 'EXTRACTION' ) )  
  
TABK1K3 = POST_K1_K2_K3 ( MODELISATION = '3D', INFO=2,  
                          FOND_FISS = FISS,  
                          MAILLAGE = MA,  
                          MATER = MAT,  
                          TABL_DEPL_SUP = DEP_SUP,  
                          TABL_DEPL_INF = DEP_INF,  
                          ABSC_CURV_MAXI = 0.539,  
                          REPERE = 'LOCAL',  
                          VECT_Y = ( 0. 0. 1. ) )
```