

## Opérateur POST\_K1\_K2\_K3

---

### 1 But

---

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

Cet opérateur permet de calculer  $K_I$ ,  $K_2$  en 2D (plan et axisymétrique) et  $K_3$  en 3D par extrapolation des sauts de déplacements sur les lèvres de la fissure, cf. [R7.02.08]. Cette méthode n'est applicable que pour les matériaux homogènes et isotropes.

Cet opérateur est utilisable aussi bien pour une fissure maillée que pour une fissure non maillée (méthode X-FEM). Dans le cas d'une fissure maillée, celle-ci doit obligatoirement être plane.

La méthode utilisée est théoriquement moins précise et plus sensible au maillage que le calcul à partir de la forme bilinéaire du taux de restitution de l'énergie et des déplacements singuliers, utilisable en 2D et en 3D avec l'option `CALC_K_G` de l'opérateur `CALC_G` [U4.82.03]. Elle permet cependant d'obtenir facilement une bonne estimation des facteurs d'intensité des contraintes.

Produit un concept de type `table`.

## 2 Syntaxe

```
tk [table] = POST_K1_K2_K3 (

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

    ♦  MATER                  = mat,                                [matériau]

    ♦  ABSC_CURV_MAXI        = dmax,                                [R]

    ◇  /  FOND_FISS          = fond,                                [fond_fiss]
        /  FISSURE          = fiss,                                [fiss_xfem]

# 1) Si FOND_FISS est renseigné :
    ◇  /  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]

# Si modélisation 3D
    ◇  TYPE_MALLAGE          = /  'REGLE',                                [DEFAULT]
                                /  'LIBRE',

    ◇  NB_NOEUD_COUPE        = /  5,
                                /  n,                                [I]

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

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

    ♦  VECT_K1               = (y1, y2, y3),                        [R]
    ◇  PREC_VIS_A_VIS        = /  1.E-1,                            [DEFAULT]
                                /  epsi,                            [R]

    ◇  EVOL_THER              = resuth,                            [evol_ther]

# 2) Si FISSURE est renseigné :
    ♦  RESULTAT              = resu,                                /  [evol_elas]
                                /  [evol_noli]

    ◇  /  DTAN_ORIG          = (Tox , Toy , Toz),                    [l_R]
        DTAN_EXTR           = (Tex , Tey , Tez),                    [l_R]

    ◇  NB_NOEUD_COUPE        = /  5,                                [DEFAULT]
                                /  n,                                [I]

    ◇  NB_POINT_FOND         = /  nbnofo,                            [I]
    ◇  NUME_FOND              = /  1,                                [DEFAULT]
                                /  numfon,                            [I]

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

# 3) Si ni FISSURE, ni FOND_FISS ne sont renseignés :
    ♦  TABL_DEPL_SUP         = tdsup,                                [table]
    ◇  TABL_DEPL_INF         = tdinf,                                [table]
    ♦  VECT_K1               = (y1, y2, y3),                        [R]
```

```
# 4) Finsi

    ◇ / TOUT_ORDRE      = 'OUI',
      / NUME_ORDRE      = lnuor,                [L_I]
      / LIST_ORDRE      = lnuor,                [listis]

      / INST            = l_inst,                [l_R]
      / LIST_INST       = l_inst,                [listR8]
      ◇ CRITERE         = / 'RELATIF',          [DEFAULT]
                        ◇ PRECISION = / prec ,    [R]
                                      / 1.E-6 ,    [DEFAULT]
                        / 'ABSOLU' ,
                        ◆ PRECISION = prec ,      [R]

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

    ◇ TITRE             = titre,                 [l_Kn]

    ◇ INFO              = / 1,
```

)

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande MODELISATION

```
♦ MODELISATION = / '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. Ce matériau doit être **constant** (utilisation obligatoire de `DEFI_MATERIAU/ELAS`). La seule dépendance tolérée est la dépendance à la **température**. 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 :

- si l'opérande `EVOL_THER` n'est pas renseigné, alors les caractéristiques matériaux sont obtenues à la température de référence `TEMP_DEF_ALPHA` de `DEFI_MATERIAU` ;
- si l'opérande `EVOL_THER` est renseigné, alors les caractéristiques matériaux sont calculées à partir de la température des nœuds du fond de fissure.

### 3.3 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).

### 3.4 Cas où l'opérande FOND\_FISS est renseigné

Ce cas correspond à un calcul sur une fissure maillée, définie pour le post-traitement avec l'opérateur `DEFI_FOND_FISS`. Par défaut, le calcul est fait automatiquement pour tous les nœuds du fond de fissure.

#### 3.4.1 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 = noeud, [l_noeud]
  / | GROUP_NO = gr_noeu, [l_gr_noeud]
  / | SANS_NOEUD = noeud, [l_noeud]
  / | SANS_GROUP_NO = gr_noeu, [l_gr_noeud]
```

L'opérande FOND\_FISS permet de fournir le concept fond\_fiss (créé par la commande DEFI\_FOND\_FISS) dans lequel sont stockées les informations nécessaires à la recherche automatique des nœuds des deux lèvres situés sur des segments normaux au fond de fissure.

En 3D, par défaut, le calcul des facteurs d'intensité de contraintes se fait uniquement sur les nœuds sommets 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 sommets 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 sommets 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 conditions suivantes :

- distance  $R$  par rapport au fond de fissure :  $R < \text{ABSC\_CURV\_MAXI}$ ,
- distance  $L$  par rapport à son vis-à-vis sur l'autre lèvre :  
 $L < \text{epsi} \cdot \text{ABSC\_CURV\_MAXI}$ ,
- et en 3D distance  $D$  d'un nœud des lèvres à la droite perpendiculaire au fond de fissure :  $D < \text{epsi\_fond} \cdot d$ , où  $d$  est la distance minimale entre deux nœuds successifs du fond de fissure,  
où  $\text{epsi}$  est la valeur de la précision fournie (mot clé PREC\_VIS\_A\_VIS) et  $\text{epsi\_fond}$  la valeur de la précision fournie dans le mot-clé PREC\_NORM de DEFI\_FOND\_FISS.

Par défaut  $\text{epsi}$  vaut 0,1. Augmenter la valeur de PREC\_VIS\_A\_VIS (et/ou de PREC\_NORM dans DEFI\_FOND\_FISS) revient à augmenter le nombre de nœuds potentiellement retenus pour le calcul.

**Remarque :**

*Si TYPE\_MALLAGE='REGLE', cette précision intervient dans la phase de projection du résultat sur la ligne de coupe : un point est considéré comme étant hors de la matière si sa distance à la structure est supérieure à  $\text{epsi} \cdot \text{ABSC\_CURV\_MAXI}$ . Il peut être nécessaire de modifier la valeur par défaut de ce paramètre si la fissure est représentée par une entaille.*

### 3.4.2 Opérandes TABL\_DEPL\_SUP / TABL\_DEPL\_INF / RESULTAT

```
♦ / RESULTAT = resu,  
/ ♦ TABL_DEPL_SUP = tdsup, [table]  
  ♦ TABL_DEPL_INF = tdinf, [table]
```

resu est un concept de type evol\_elas ou evol\_noli contenant le champ de déplacement sur tout le modèle.

Si on ne veut pas conserver tout le champ résultat, il est également possible de faire le post-traitement uniquement à partir de tables contenant les déplacements de tous les nœuds de la lèvre supérieure (tdsup) et de ceux de la lèvre inférieure (tdinf). Ces tables doivent être préalablement créées avec l'opérateur POST\_RELEVE\_T.

### 3.4.3 Opérande TYPE\_MALLAGE

```
♦ TYPE_MALLAGE = / 'REGLE', [défaut]  
                / 'LIBRE',
```

Ce mot-clé n'est disponible qu'en 3D, pour les fissures maillées définies par FOND\_FISS.

Si TYPE\_MALLAGE= 'REGLE', option à utiliser par défaut, le calcul se fait en supposant que les nœuds sur les lèvres de la fissure sont sur des directions normales au fond et exactement en vis-à-vis d'une lèvre à l'autre. Des messages d'alarme ou d'erreur sont émis si ce n'est pas le cas.

Si le maillage ne remplit pas ces conditions, on peut utiliser l'option TYPE\_MALLAGE='LIBRE'. Le principe du calcul est alors le suivant :

- [1] détermination des directions normales au fond de fissure pour chacun des nœuds du fond,
- [2] définition sur chacune de ces directions de NB\_NOEUD\_COUPE points équi-répartis entre le fond et la distance ABSC\_CURV\_MAXI,
- [3] projection du déplacement de chaque lèvre sur ces nœuds,
- [4] interpolation du saut de déplacement.

Le calcul avec TYPE\_MALLAGE='LIBRE' peut être moins précis que le calcul par défaut. Par ailleurs dans ce cas, le champ de déplacement est obligatoirement fourni par l'opérande RESULTAT.

### 3.4.4 Opérande NB\_NOEUD\_COUPE

◇ NB\_NOEUD\_COUPE= / 5, [DEFAULT]  
/ n, [I]

Cette opérande n'intervient que si TYPE\_MALLAGE='LIBRE' est renseigné. Elle permet de définir le nombre de nœuds de projection du déplacement des lèvres sur chacune des directions normales. Les nœuds de projection sont équi-répartis entre le fond de fissure et la distance ABSC\_CURV\_MAXI.

#### Remarque :

*La projection du déplacement des lèvres sur les NB\_NOEUD\_COUPE points de projection ne prend pas correctement en compte le déplacement des nœuds au quart (éléments de Barsoum). Il est donc recommandé de ne pas utiliser ces éléments si TYPE\_MALLAGE='LIBRE'.*

### 3.4.5 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. Le vecteur VECT\_K1, défini par 3 coordonnées même en 2D, permet d'identifier ce plan normal.

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.

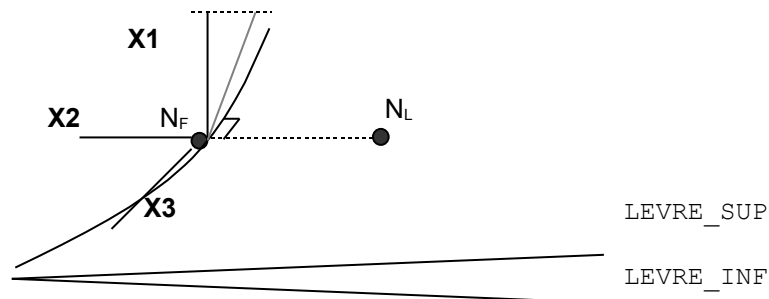
Ces axes sont déterminés de la façon suivante :

- 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  $VECT_{KI} X1$  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  $X2$  :

$$X1 = VECT_{K1} - (VECT_{K1} \cdot X2) X2 ;$$

- 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  $X3$  .

## 3.5 Cas où l'opérande FISSURE est renseigné

Ce cas correspond à un calcul sur une fissure non maillée, définie pour le calcul puis pour le post-traitement avec l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM`.

### 3.5.1 Opérande FISSURE

♦ `FISSURE = fiss,`

Concept de type `fiss_xfem`, produit par la commande `DEFI_FISS_XFEM`.

### 3.5.2 Opérande RESULTAT

♦ `RESULTAT = resu,`

Concept de type `evol_elas` ou `evol_noli` contenant le champ de déplacement sur tout le modèle. Le maillage est déduit de ce concept.

### 3.5.3 Opérandes DTAN\_ORIG et DTAN\_EXTR

♦ / `DTAN_ORIG = (Tox , Toy , Toz), [1_R]`  
`DTAN_EXTR = (Tex , Tey , Tez), [1_R]`

Les mots clés `DTAN_ORIG` et `DTAN_EXTR` sont facultatifs et ne doivent être définis qu'en 3D. Les vecteurs `(Tox , Toy , Toz)` et `(Tex , Tey , Tez)` correspondent à la direction de propagation de la fissure respectivement pour le point à l'origine et à l'extrémité du fond de fissure, orientée dans le sens de la propagation de la fissure.

### 3.5.4 Opérande NUME\_FOND

♦ `NUME_FOND = / 1, [DEFAULT]`  
`/ numfon, [I]`

Plusieurs fonds de fissure peuvent être définis dans une seule structure de données de type `fiss_xfem`. Cette opérande permet de sélectionner le numéro du fond sur lequel le calcul doit être réalisé. Par défaut, seul le premier fond est considéré.

### 3.5.5 Opérande NB\_NOEUD\_COUPE

◇ NB\_NOEUD\_COUPE = / 5, [DEFAULT]  
/ n, [I]

Cet opérande permet de définir le nombre de nœuds de projection du déplacement des lèvres sur chacune des directions normales. Les nœuds de projection sont équi-répartis entre le fond de fissure et la distance `ABSC_CURV_MAXI`.

### 3.5.6 Opérande NB\_POINT\_FOND

◇ NB\_POINT\_FOND = / nbnofo, [I]

Par défaut pour une fissure X-FEM, le calcul se fait sur tous les points du fond de fissure, i.e. tous les points d'intersection entre le fond de fissure et les arêtes du maillage. L'opérande `NB_POINT_FOND` permet de fixer *a priori* le nombre de points de post-traitement, afin de limiter les temps de calcul. Les `nbnofo` points sont équi-répartis le long du fond de fissure.

### 3.5.7 Opérande VECT\_K1

◇ VECT\_K1 = (y1, y2, y3) [R]

Avec `POST_KI_K2_K3` et une fissure X-FEM, deux cas de figure se présentent :

- soit l'opérande `VECT_K1` est renseigné et la fissure est supposée plane (cf. §6 pour la définition de `VECT_K1`). La cohérence entre la normale au plan de la fissure et `VECT_K1` est vérifiée en chaque point du fond ;
- soit l'opérande `VECT_K1` n'est pas renseigné et la fissure peut être non plane. La normale locale en chaque point du fond est calculée à partir des informations stockées dans la structure de données `fiss_xfem`.

Le calcul des facteurs d'intensité des contraintes n'a cependant de sens que pour des fissures suffisamment régulières. On vérifie donc que la normale aux lèvres de la fissure ne varie pas de plus de  $10^\circ$  entre deux points successifs du fond.

## 3.6 Cas où ni FISSURE, ni FOND\_FISS ne sont renseignés

Ce cas correspond à un calcul des facteurs d'intensité des contraintes sur une fissure maillée, pour un point du fond de fissure seulement. Les déplacements des lèvres de la fissure, sur une direction normale au fond, doivent être préalablement extraits dans des tables.

### 3.6.1 Opérandes TABL\_DEPL\_SUP / TABL\_DEPL\_INF

◆ / TABL\_DEPL\_SUP= tdsup, [table]  
/ TABL\_DEPL\_INF= tdinf, [table]

Concepts de type table issus de `POST_RELEVÉ_T` ou `MACR_LIGN_COUPE`, contenant les déplacements des nœuds de la lèvre supérieure (`tdsup`) et ceux de la lèvre inférieure (`tdinf`). Les nœuds des lèvres doivent être ordonnés (du fond de fissure vers la lèvre de la fissure).

En 2D, ces lèvres sont des segments de droites. `tdsup` et `tdinf` contiennent donc les valeurs des deux composantes du déplacement sur chacune des lèvres supérieure et inférieure.



En 3D, le calcul est limité à un seul point du fond de fissure. Les tables contiennent les composantes du déplacements sur des segments de droites appartenant respectivement à la lèvres supérieure et à la lèvre inférieure, et orthogonaux au fond de fissure.

### 3.6.2 Opérande VECT\_K1

◇ VECT\_K1 = (y1, y2, y3) [R]

VECT\_K1 permet de définir le vecteur normal au fond de fissure, cf. §6.

### 3.7 Opérandes INST, LIST\_INST, TOUT\_ORDRE, NUME\_ORDRE, LIST\_ORDRE

Cf. [U4.71.00].

### 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  $K2 = K3 = 0$ ).

Il n'est pas possible de prendre en compte la symétrie du modèle quand la fissure n'est pas maillée (cas FISSURE).

### 3.9 Opérande INFO

◇ INFO = / 1, [DEFAULT]  
/ 2,

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

Pour le calcul de  $K$  en chaque nœud du fond de fissure, on identifie le facteur d'intensité de contrainte  $K_I$  (resp.  $K_2$ ,  $K_3$ ) à partir du saut de déplacement par une méthode des moindres carrés. On obtient une unique valeur de  $K_I$ ,  $K_2$  et  $K_3$  pour chaque nœud du fond de fissure.

Pour le calcul de l'erreur commise, on calcule  $K$  suivant trois méthodes différentes [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  $K_I$  (resp.  $K_2$ ,  $K_3$ ) 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  $K_I$  sont (toujours à un facteur multiplicatif près) égales à la pente des segments reliant l'origine aux différents points de la courbe.
- Méthode 3 : il s'agit de la méthode retenue pour le calcul de  $K$ .

L'erreur commise pour le mode  $j$  dans le calcul de  $K_j$  s'exprime de la manière suivante :

$$ERR_{K_j} = \frac{(\max_{i=1,2,3} (K_{j_{max,i}}) - \min_{i=1,2,3} (K_{j_{min,i}}))}{\max_{j=1,2,3} (\max_{i=1,2,3} (K_{j_{max,i}}))}$$

où  $K_{j_{max,i}}$  est la valeur maximale des facteurs d'intensité des contraintes obtenue pour la méthode  $i$  et concernant le mode  $j$  et de même  $K_{j_{min,i}}$  est la valeur minimale des facteurs d'intensité des contraintes obtenue pour la méthode  $i$  et concernant mode  $j$ .

La commande POST\_K1\_K2\_K3 produit un concept de type `table`. Cette table contient, pour chaque nœud du fond de fissure :

- 1) la valeur  $K_I$  et la valeur de l'erreur  $ERR\_K_I$  des facteurs d'intensité des contraintes en mode I calculés pour chaque nœud du segment d'interpolation;
- 2)  $K_2$  et  $ERR\_K_2$  pour le mode II ;
- 3)  $K_3$  et  $ERR\_K_3$  pour le mode III en 3D ;
- 4) Le taux de restitution de l'énergie  $G$  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].

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  $X_I$  (resp.  $X_2$  et  $X_3$ ), multiplié par un coefficient dépendant du matériau, le tout au carré [R7.02.08].

### 4.2 Précautions et conseils

Les hypothèses nécessaires à la validité de cette méthode sont :

- 1) la fissure doit être suffisamment régulière (i.e. le fond et les lèvres ne présentent pas de singularité géométrique) ;

- 2) le comportement doit être élastique, linéaire, isotrope et homogène ;
- 3) la structure doit être isotherme (ou, a minima, les gradients de température sur les lèvres peuvent être négligés dans la zone d'interpolation).

La méthode utilisée est théoriquement moins précise et plus sensible au maillage que la méthode des déplacements singuliers [R7.02.05]. De manière générale, on peut conseiller de comparer dans les études les résultats de POST\_K1\_K2\_K3 et ceux de CALC\_G [U4.82.03], ce qui est un bon indicateur de la qualité du résultat obtenu.

**Conseils dans le cas fissure maillée :** le maillage doit être de préférence quadratique et 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 rendu possible par le mot clé MODI\_MAILLE (option 'NOEUD\_QUART') de la commande MODI\_MAILLAGE [U4.23.04].

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 les lignes correspondantes à ce nœud du fond sont mises à 0 dans le tableau résultat. Le calcul se poursuit ensuite, 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 (et éventuellement PREC\_NORM dans DEFI\_FOND\_FISS), ce qui revient à être moins exigeant dans la sélection des nœuds pour le calcul.

**Conseils dans le cas fissure non maillée :** la précision de la méthode est sensible au choix de la zone d'enrichissement de la méthode X-FEM (paramètre RAYON\_ENRI de DEFI\_FISS\_XFEM). Dans l'idéal, le rayon d'enrichissement et l'abscisse curviligne maximale ABSC\_CURV\_MAXI sont de l'ordre de trois fois la taille de l'arête minimale du maillage.

Les calculs sont possibles sur une fissure non plane, mais l'utilisateur doit veiller à ce qu'elle reste suffisamment régulière pour que les hypothèses de calcul soient valides : il ne faut pas avoir une singularité géométrique sur le fond ou sur les lèvres. Typiquement, le calcul est licite pour une fissure axisymétrique, mais pas pour un coin.

Le calcul par interpolation des sauts de déplacement nécessite d'avoir au moins 3 nœuds sur la normale au fond de fissure. Le nombre de points d'interpolation est normalement égal à NB\_NOEUD\_COUPE mais peut être inférieur dans certains cas :

- aux points extrémités du fond de fissure si la direction de propagation conduit à sortir de la matière. On peut conseiller dans ce cas d'utiliser les opérandes DTAN\_ORIG et DTAN\_EXTR pour imposer une direction de propagation adéquate en ces points ;
- si la géométrie du fond et de la structure est telle qu'une partie des points d'interpolation sort de la matière. Il faut dans ce cas réduire ABSC\_CURV\_MAXI (tout en restant cohérent avec la finesse du maillage) et / ou augmenter NB\_NOEUD\_COUPE.

Les calculs sont assez consommateurs en temps et en mémoire s'il y a beaucoup de points sur le fond de fissure. L'utilisation du mot clé NB\_POINT\_FOND permet de limiter le post-traitement à un certain nombre de points équi-répartis le long du fond (par exemple une vingtaine de points est souvent suffisante).

## 5 Exemple 1 : maillage réglé

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 = 'LEVINF1' ),
                        LEVRE_INF = _F ( GROUP_MA = 'LEVINFS' ),
                        DTAN_ORIG = ( 1. , 0. , 0. ),
                        DTAN_EXTR = ( 0. , 1. , 0. ),
                        PREC_NORM = 0.1,
                        )
```

```
TABK1K3 = POST_K1_K2_K3 ( MODELISATION = '3D', INFO=2,
                          FOND_FISS = FISS,
                          MATER = MAT,
                          RESULTAT = RESU1,
                          ABSC_CURV_MAXI = 0.539,
                          VECT_K1 = (0. 0. 1.),
                          PREC_VIS_A_VIS = 0.1,
                          )
```

## 6 Exemple 2 : maillage libre

En 3D, si le maillage n'est pas réglé en fond de fissure, il peut ne pas y avoir suffisamment de nœuds sur des directions normales au fond pour l'interpolation. Dans ce cas, on doit utiliser l'option `TYPE_MALLAGE='LIBRE'`.

Avec cette option, le principe de calcul est le suivant

- [1] détermination des directions normales au fond de fissure pour chaque nœud du fond,
- [2] définition sur chacune de ces directions de `NB_NOEUD_COUPE` points, équi-répartis entre le fond et la distance `ABSC_CURV_MAXI`,
- [3] projection du déplacement de chaque lèvres sur ces nœuds et interpolation du saut de déplacement.

L'option `TYPE_MALLAGE='LIBRE'` n'est pas disponible en 2D. Le seul cas où cela pourrait servir est le cas des nœuds non coïncidents entre les deux lèvres.

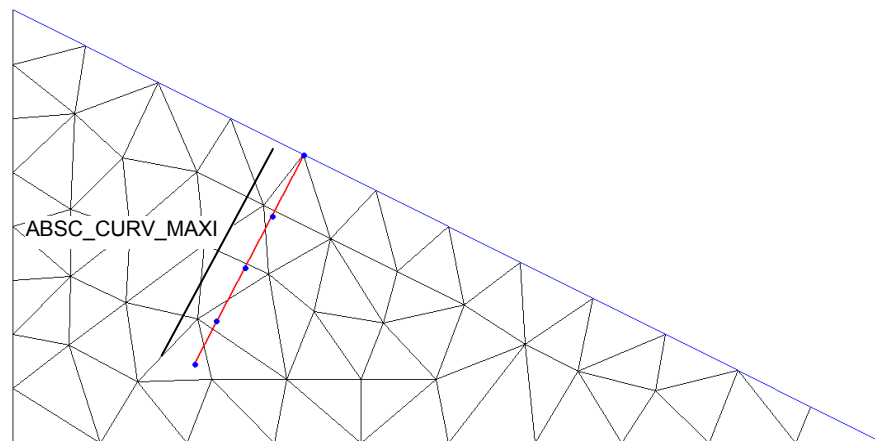


Figure 6a: Maillage libre des lèvres de la fissure – Définition des points de projection

```
TABK = POST_K1_K2_K3 ( MODELISATION      = '3D', INFO=2,
                        TYPE_MALLAGE      = 'LIBRE',
                        FOND_FISS         = FISS,
                        MATER              = MAT,
                        RESULTAT           = RESU_MECA,
                        ABSC_CURV_MAXI    = 0.539,
                        NB_NOEUD_COUPE    = 5,
                        )
```