
Opérateur POST_K1_K2_K3

1 But

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

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, 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]

# Si FOND_FISS est renseigné :
    ◇  /  TOUT                = 'OUI',
        /  | NOEUD             = noe,                                [l_noeud]
        /  | GROUP_NO         = gr_noe,                            [l_gr_noeud]
        /  | SANS_NOEUD        = noe,                                [l_noeud]
        /  | SANS_GROUP_NO     = gr_noe,                            [l_gr_noeud]
    ♦  MAILLAGE               = ma,                                [maillage]
    ♦  TYPE_MAILLAGE          = /  'REGLE',
                                /  'LIBRE',                        [DEFAULT]
    ◇  NB_NOEUD_COUPE         = /  5,
                                /  n,                                [I]
    ♦  /  RESULTAT            = resu,                                /  [evol_elas]
                                /  [evol_noli]
        /  ♦  TABL_DEPL_SUP    = tdsup,                            [table]
        /  ◇  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]

# Si FISSURE est renseigné :
    ♦  MAILLAGE               = ma,                                [maillage]
    ♦  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]

# 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]

# 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.

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

- si les déplacements sont fournis par les mots clés TABL_DEPL_SUP / TABL_DEPL_INF, les caractéristiques matériaux sont obtenues à la température de référence TEMP_DEF_ALPHA de DEFINI_MATERIAU ;
- si les déplacements sont fournis directement sous le mot clé RESULTAT, et si l'opérande EVOL_THER est renseigné, alors les caractéristiques matériaux sont calculées à partir de la température des nœuds du fond de fissure.

Remarque :

Il est donc recommandé de renseigner le mot clé RESULTAT si les propriétés matériaux dépendent de la température.

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 DEFINI_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	=	noeu,	[l_noeud]
/ GROUP_NO	=	gr_noeu,	[l_gr_noeud]

```
/ | SANS_NOEUD      = noeu,      [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 epsi est la valeur de la précision fournie (mot clé PREC_VIS_A_VIS) et epsi_fond la valeur de la précision fournie dans le mot-clé PREC_NORM de DEFI_FOND_FISS.

Par défaut 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',
```

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]`

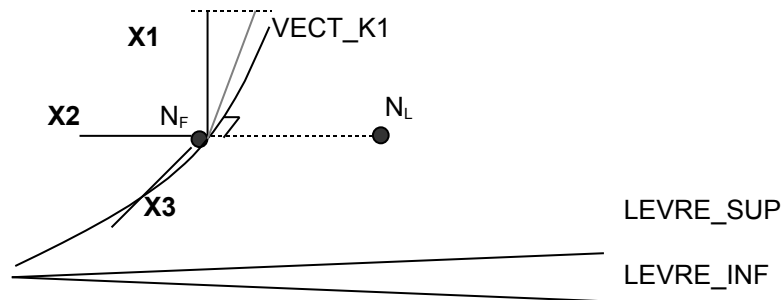
`POST_K1_K2_K3` fonctionne pour une fissure plane et effectue le calcul des facteurs d'intensité des contraintes dans le plan normal à chaque nœud du fond de fissure. Le vecteur `VECT_K1`, défini par 3 coordonnées même en 2D, permet d'identifier ce plan normal.

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_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.

3.5 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.

3.5.3 Opérande MAILLAGE

♦ MAILLAGE = mail,

Concept de type maillage. Dans le cas général, il faut indiquer le nom du maillage sur lequel le calcul a été effectué. Dans le cas particulier d'un calcul X-FEM avec contact, il faut indiquer le nom du maillage linéaire initial avant passage en quadratique.

3.5.4 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.

3.5.5 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.

3.5.6 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`.

3.5.7 Opérande NB_POINT_FOND

◇ NB_POINT_FOND = / nbnofo, [I]

Par défaut, 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 arrêtes 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 équirépartis le long du fond de fissure.

3.5.8 Opérande VECT_K1

◇ VECT_K1 = (y1, y2, y3) [R]

Avec `POST_K1_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° 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_RELEVE_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 lèvre 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

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 :

- 1) 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;
- 2) `K2_MAX` et `K2_MIN` pour le mode II ;
- 3) `K3_MAX` et `K3_MIN` pour le mode III en 3D ;
- 4) 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 : $E\sqrt{(2\pi \cdot / 8(1-\nu^2))}$), le tout au carré.

4.2 Précautions et conseils

Les hypothèses nécessaires à la validité de cette méthode sont :

- 1) la fissure 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'arrête 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.

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 = 'LEVINF1' ),
                        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,
                          MAILLAGE = MA,
                          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'` est aussi utilisable en 2D (cas des nœuds non coïncidents entre les deux lèvres).

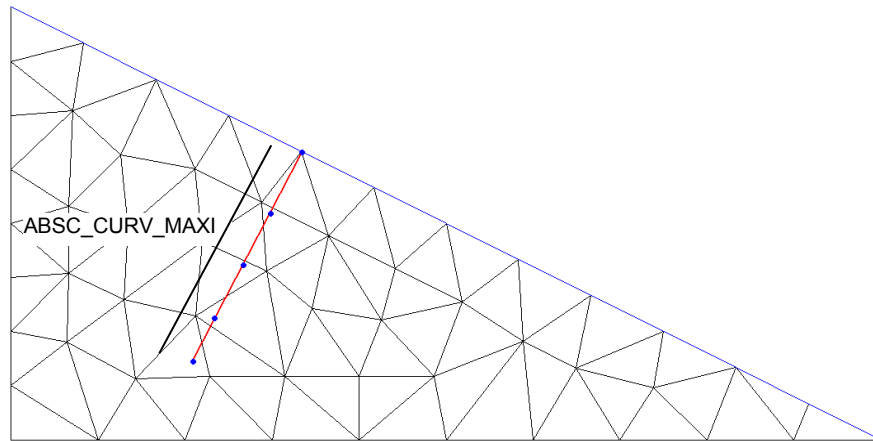


Figure 6a: Maillage libre des lèvres de la fissure – Définition des points de projection

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