

**Manuel d'Utilisation**  
**Fascicule U4.8- : Post-traitement et analyses dédiées**  
**Document : U4.82.08**

## Opérateur *DEFI\_FISS\_XFEM*

### 1 But

Définir une fissure 2D ou 3D par le biais de fonctions de niveaux en vue d'un calcul des facteurs d'intensité de contraintes ou d'un calcul de propagation.

On définit deux fonctions de niveaux (level sets) permettant de caractériser une fissure quelconque (fissure plane ou non). Les level sets peuvent être définies de deux façons différentes :

- soit à partir de deux groupes de mailles (le groupe de mailles de la fissure et le groupe de mailles du fond de fissure) ;
- soit à partir de deux fonctions analytiques.

Pour le cas 2D, les mailles du fond de fissure sont des mailles *POI* ; elles ne doivent pas être données en tant que groupe de nœud mais en tant que groupe de mailles. Pour le cas 3D, l'orientation du fond de fissure nécessite la donnée d'un point initial et d'un plan (vecteur normal et un point du plan). Un manque dans ces données conduira à une erreur malgré le caractère facultatif du paramètre *ORIE\_FOND* (facultatif puisque inutile en 2D).

Les caractéristiques liées au contact sur les lèvres de la fissure ne sont pas données ici mais dans une charge de contact spécifique avec l'opérateur *AFFE\_CHAR\_MECA*.

L'aspect théorique de la méthode X-FEM est abordée dans [R7.02.12], et il est conseillé à l'utilisateur qui n'est pas familier avec l'usage des level sets de lire les quelques lignes explicatives relatives à la représentation de surfaces par la méthode des level sets.

Cet opérateur crée toutes les quantités qui seront utiles (base locale au fond de fissure...) aux calculs des facteurs d'intensité de contraintes par l'opérateur *CALC\_G* [U4.82.03] avec l'option *CALC\_K\_G*.

L'opérateur produit un concept de type *fiss\_xfem*.

## 2 Syntaxe

```

[fiss_xfem] = DEFI_FISS_XFEM(

    ♦  MODELE           =  mo,                               [modele]

#  Définition de la fissure

    ♦  DEFI_FISS =  _F (

#  Soit on définit le groupe de mailles d'une lèvres et le groupe de mailles
du fond de fissure :

        ♦  /  ♦  GROUP_MA_FISS      =  grma,                [l_gr_maille]
            ♦  GROUP_MA_FOND       =  grma,                [l_gr_maille]

#  Soit on définit deux fonctions analytiques ; une pour caractériser la
surface de la fissure, et l'autre pour caractériser le fond de fissure :

        /  ♦  FONC_LN              =  fonc,                [fonction]
            ♦  FONC_LT              =  fonc,                [fonction]

#  Soit on utilise une forme de fissure pré-définie et on donne les
caractéristiques géométriques :

        /  ♦  FORME_FISS           =  form,                [K8]

        #  Si form = 'ELLIPSE'
            ♦  DEMI_GRAND_AXE      =  a,                    [R]
            ♦  DEMI_PETIT_AXE     =  b,                    [R]
            ♦  CENTRE              =  (x0, y0, z0),         [l_R]
            ♦  VECT_X              =  (vxx, vxy, vxz),       [l_R]
            ♦  VECT_Y              =  (vyx, vyy, vyz),       [l_R]
            ♦  COTE_FISS           =  /  'IN',              [DEFAULT]
                                   /  'OUT',
                                   ),

#  Définition de la zone d'enrichissement

    ♦  GROUP_MA_ENRI      =  grma,                          [l_gr_maille]
    ♦  RAYON_ENRI         =  /  0.,                          [DEFAULT]
                           /  Rmax,                          [R]

#  Orientation du fond de fissure

    ♦  ORIE_FOND          =  _F (

        ♦  PFON_INI       =  (Pix , Piy , Piz),             [l_R]
        ♦  VECT_ORIE      =  (Vox , Voy , Voz),             [l_R]
        ♦  PT_ORIGIN      =  (Pox , Poy , Poz),             [l_R]

        ),

#  Impression d'informations

    ♦  INFO               =  /  1,                          [DEFAULT]
                           /  2,
                           /  3,

```

---

*Manuel d'Utilisation*

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande `MODELE`

◆ `MODELE = mo`

`mo` : nom du modèle sur lequel on va définir la fissure.

La définition d'une fissure par cet opérateur n'est autorisée que pour les modélisations suivantes :

- `3D`, `C_PLAN`, `D_PLAN`, avec des mailles linéaires ou quadratiques, pour le cas d'un calcul classique avec une fissure maillée, l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM` ne servant qu'en post-traitement pour calculer la base locale au fond de fissure nécessaire à `CALC_G`.
- `3D_XFEM`, `C_PLAN_X`, `D_PLAN_X`, avec des mailles exclusivement quadratiques. Dans ce cas, la définition de la fissure pourra servir à un calcul X-FEM (c'est-à-dire avec une fissure non maillée). Si le maillage de départ est linéaire, il faut utiliser l'opérateur `CREA_MALLAGE` avec `LINE_QUAD` pour le transformer en maillage quadratique. Notons que pour le moment, tous les éléments finis X-FEM (issus de mailles linéaires ou quadratiques) sont en fait des éléments finis avec des fonctions de formes linéaires.

### 3.2 Mot clé `DEFI_FISS`

◆ `DEFI_FISS = _F`

Le mot-clé facteur `DEFI_FISS` permet de définir la fissure de trois manières différentes :

- En 3D, si on a une fissure déjà maillée, alors on peut définir la fissure en donnant un groupe de mailles `GROUP_MA_FISS` correspondant à une seule des lèvres de la fissure (lèvre inférieure ou supérieure). Ce groupe de mailles doit être orienté. Dans le cas de lèvres qui ne seraient pas parfaitement collées (entaille), le fait de privilégier un côté aura une légère influence sur la base locale du fond de fissure, influence d'autant plus grande que l'angle entre les deux lèvres est important. Le fond de fissure est quant à lui défini par les mailles de `GROUP_MA_FOND`, qui peut être un groupe de mailles linéaires (`SEG2`) fermé ou ouvert.

/   ◆ `GROUP_MA_FISS = grma`  
avec `grma` groupe de mailles unique.

- ◆ `GROUP_MA_FOND = grma`  
avec `grma` groupe de mailles unique. Il est obligatoire que ce groupe contienne des mailles continues, c'est-à-dire que deux mailles qui se suivent aient un nœud en commun. Sinon, il est possible que l'orientation du fond de fissure soit fautive. Un message d'erreur fatale prévient l'utilisateur dans le cas où la phase d'orientation a échoué.

Pour le cas 2D, le programme trie les mailles de `GROUP_MA_FISS` de façon à avoir un groupe de mailles contiguës quel que soit le groupe de départ. Il n'est donc pas nécessaire de donner un groupe de mailles qui se suivent. Un groupe de mailles segment pour `GROUP_MA_FISS` et un groupe de mailles point pour `GROUP_MA_FOND` sont nécessaires.

- Le principal intérêt de cet opérateur est la possibilité de définir une fissure sans que celle-ci ne soit forcément maillée. Dans ce cas, on définit la fissure à l'aide de deux fonctions de niveaux (level sets). La première level set (dite level set « normale ») est celle qui permet de caractériser la surface de la fissure. On renseigne donc `FONC_LN` avec une fonction réelle de `X`, `Y` et `Z` définie au préalable par l'opérateur `FORMULE`. La surface de la fissure sera alors l'iso-zéro de cette fonction. La seconde level set (dite level set « tangente ») est celle qui permet de caractériser le fond de fissure. On renseigne donc `FONC_LT` avec une fonction réelle de `X`, `Y` et `Z` définie au préalable par l'opérateur `FORMULE`. La trace de l'iso-zéro de `FONC_LT` dans le plan

de fissuration est le fond de fissure. Les points de la fissure sont alors caractérisés par  $FONC\_LN = 0$  et  $FONC\_LT < 0$ , alors que le fond de fissure est caractérisé par  $FONC\_LN = 0$  et  $FONC\_LT = 0$ .

- /   ♦    $FONC\_LN$                        =   fonc ,  
avec fonc une fonction ou une formule définie auparavant.
- ♦    $FONC\_LT$                        =   fonc ,  
avec fonc une fonction ou une formule définie auparavant.

#### Remarque :

*Pour une fissure, il est primordial que les level sets sont les vraies fonctions distances, on ne peut donc pas définir une fissure elliptique par :*

*$LN=FORMULE(NOM\_PARA=( 'X', 'Y', 'Z' ),VALE='Z-H')$*

*$LT=FORMULE(NOM\_PARA=( 'X', 'Y', 'Z' ),VALE='(X/a)^2+(Y/b)^2-1')$*

*où a et b seraient les demi-grand axe et demi-petit axe de l'ellipse. En effet, la fonction LT n'est pas la distance à l'ellipse. La fonction distance à une ellipse ne s'exprime pas à l'aide de fonctions usuelles. Pour introduire une telle fissure, il faut utiliser la 3<sup>ème</sup> méthode : les formes pré-définies.*

#### Remarque :

*Attention au signe de  $FONC\_LT$ , toujours se rappeler que la fissure est définie du côté  $FONC\_LT < 0$ .*

- Il existe un catalogue de formes de fissure pré-définies. Pour chaque forme de fissure, il faut alors donner les caractéristiques géométriques de la forme de la fissure.

- /   ♦    $FORME\_FISS$                        =   form ,

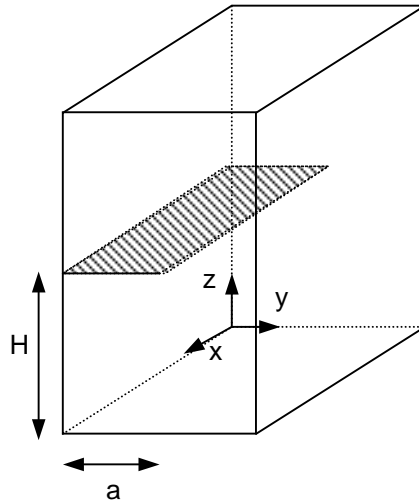
Pour l'instant, seules les fissures elliptiques sont possibles. Il faut alors renseigner la longueur du demi-grand axe par le mot-clé *DEMI\_GRAND\_AXE* et la longueur du demi-petit axe par le mot-clé *DEMI\_PETIT\_AXE*. Pour caractériser le plan de l'ellipse, on doit renseigner le centre de l'ellipse par le mot-clé *CENTRE* et le repère du plan. Le demi-grand axe correspond au vecteur *VECT\_X* et le demi-petit axe au vecteur *VECT\_Y*. De plus, on peut spécifier de quel côté se trouve la fissure (à l'intérieur ou à l'extérieur de l'ellipse) par le mot-clé *COTE\_FISS*.

- ♦    $DEMI\_GRAND\_AXE$            =   a ,  
♦    $DEMI\_PETIT\_AXE$            =   b ,  
♦   CENTRE                       =   (x0, y0, z0) ,  
♦   VECT\_X                       =   (vxx, vxy, vxz) ,  
♦   VECT\_Y                       =   (vyx, vyy, vyz) ,  
♦   COTE\_FISS                   =   /  
                                      / 'OUT' ,

## Exemples :

- si on souhaite définir un barreau fissuré de part en part dans son plan à la hauteur  $z=H$  (voir [Figure 3.2-a], sur laquelle la fissure est hachurée) :

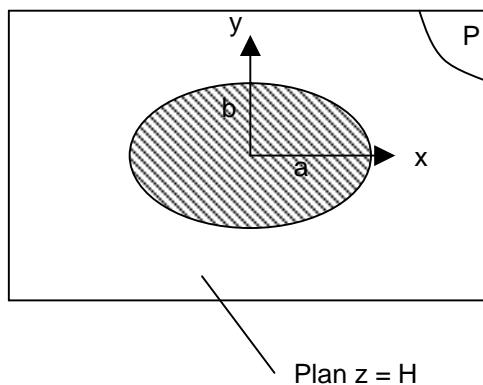
```
LN=FORMULE(NOM_PARA=('X','Y','Z'),VALE='Z-H');
LT=FORMULE(NOM_PARA=('X','Y','Z'),VALE='Y-a');
```



**Figure 3.2-a : Barreau fissuré**

- si on souhaite définir une fissure elliptique dans un massif infini dans un plan à la hauteur  $z=H$  (voir [Figure 3.2-b], sur laquelle la fissure est hachurée) :

```
DEFI_FISS = _F (  FORME_FISS      = 'ELLIPSE',
                  DEMI_GRAND_AXE   = a,
                  DEMI_PETIT_AXE  = b,
                  CENTRE           = (0, 0, H),
                  VECT_X           = (1, 0, 0),
                  VECT_Y           = (0, 1, 0),
                  COTE_FISS        = 'IN', ),
```



**Figure 3.2-b : Fissure elliptique**

## 3.3 Opérande GROUP\_MA\_ENRI

♦ GROUP\_MA\_ENRI = grma, [l\_gr\_maille]

Cette opérande permet de connaître la zone sur laquelle la procédure d'enrichissement va s'effectuer. Les nœuds enrichis doivent appartenir à ce groupe de mailles. Par défaut, il est préférable de mettre tout le maillage.

Une utilisation de ce mot-clé permet donc de délimiter la zone d'enrichissement, donc de la fissure. L'exemple suivant (voir [Figure 3.3-a]) présente une fissure de forme elliptique dans un cylindre creux. La fissure est définie par la donnée de groupes de mailles (mots-clé GROUP\_MA\_FISS et GROUP\_MA\_FOND). Deux level sets en sont déduites, en considérant un prolongement du fond de fissure par continuité. Si la zone d'enrichissement contient toute la structure, cela conduit alors à une fissure dans la partie droite du cylindre, ce qui n'est pas du tout ce que l'on souhaite. Pour résoudre ce problème, il suffit de limiter la zone d'enrichissement et de renseigner le mot-clé GROUP\_MA\_ENRI avec les mailles de la moitié gauche du cylindre par exemple.

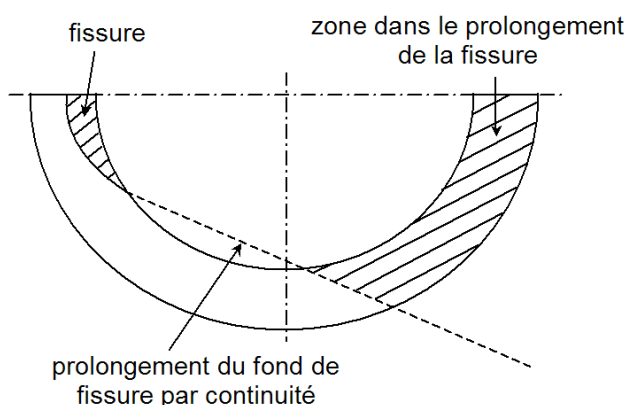


Figure 3.3-a : Coupe horizontale dans le plan de la fissure

## 3.4 Opérande RAYON\_ENRI

♦ RAYON\_ENRI = 0., [DEFAULT]  
Rmax, [R]

Si cette opérande n'est pas présente, l'enrichissement en fond de fissure par défaut est tel qu'une seule couche d'éléments est enrichie en fond de fissure. Cet enrichissement est appelé « topologique ».

Si cette opérande est renseignée, il permet de préciser un critère géométrique Rmax tel que tous les nœuds dont la distance au fond de fissure est inférieure à ce critère seront enrichis par les fonctions singulières. Cet enrichissement est appelé « géométrique ». Des études ont montré qu'un tel enrichissement améliorerait grandement la précision des calculs, notamment lorsque le maillage est raffiné en fond de fissure. Il est conseillé de choisir Rmax environ égal à 1/10 de la longueur de la fissure. L'inconvénient est qu'un trop grand rayon d'enrichissement peut détériorer le conditionnement du système et engendrer des difficultés de convergence.

## 3.5 Mot clé ORIE\_FOND

♦ ORIE\_FOND = \_F (  
♦ PFON\_INI = (Pix , Piy , Piz), [l\_R]  
♦ VECT\_ORIE = (Vox , Voy , Voz), [l\_R]

♦  $PT\_ORIGIN = (Pox, Poy, Poz), [l\_R]$

Le mot clé *ORIE\_FOND*, nécessaire uniquement en 3D, permet d'orienter le fond de fissure. En effet, grâce aux level sets, on peut déterminer des points du fond de fissure (qui sont les intersections des faces des mailles volumiques avec les iso-zéros des 2 level sets). On a donc une liste de points de l'espace à ordonner. Pour cela, on détermine le point initial du fond de fissure comme étant le point le plus proche de *PFON\_INI*. Ensuite, on projette orthogonalement les points du fond sur le plan de normale *VECT\_ORIE* passant par *PT\_ORIGIN*. L'orientation des points se fait ensuite naturellement, en partant du point initial et en tournant dans le sens trigonométrique autour de *VECT\_ORIE* (voir exemples ci-dessous).

Comment bien choisir ces trois paramètres ?

- *PFON\_INI* : Point initial du fond de fissure défini le plus précisément possible par ces coordonnées. Dans le cas d'un fond fermé, il faut quand même choisir un point initial (on se ramène dans tous les cas à un fond ouvert). Dans une prochaine version, on envisage le fait de définir ce point en donnant un nom de nœud.
- *VECT\_ORIE* : Dans le cas d'une fissure plane ou presque plane, il est préférable de prendre la normale (ou la normale approchée) au plan de fissure.
- *PT\_ORIGIN* : Ce point ne doit pas se trouver sur le fond de fissure ni sur la projection du fond suivant *VECT\_ORIE*. Souvent, le centre de la fissure est un bon choix.

Exemples : Reprenons les deux exemples de fissures cités ci-dessus.

- barreau fissuré :

Ici, si l'on veut définir le fond comme le segment [AB] (voir [Figure 3.4-a]), alors on peut choisir :

<i>PFON_INI</i>	point A
<i>VECT_ORIE</i>	axe z
<i>PT_ORIGIN</i>	point C

En effet, le choix de *VECT\_ORIE* et de *PT\_ORIGIN* implique que l'on se place dans le plan (A,B,C). Imaginons que l'on ait plusieurs points à orienter [Figure 3.4-b], on vérifie alors que dans un tel cas, le fond de fissure sera bien orienté de A vers B :

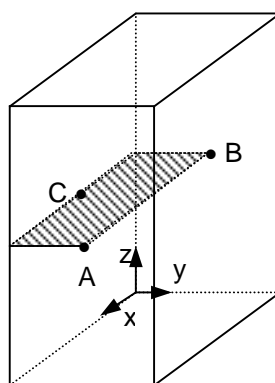


Figure 3.4-a : Barreau fissuré

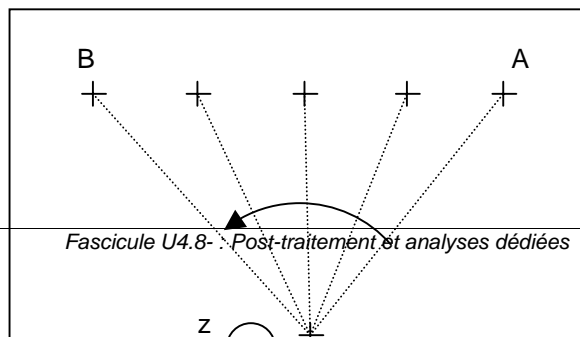




Figure 3.4-b : Plan de fissure

On remarque que si on avait choisi *VECT\_ORIE* dans le sens opposé, on aurait eu la flèche dans le sens opposé, et donc les points du fond auraient été : A, puis B, puis le point juste à droite de B, et ainsi de suite...

- fissure elliptique :

Ici, si l'on désire définir le fond comme le chemin partant de A et parcourant l'ellipse dans le sens trigonométrique [voir Figure 3.4-c], alors on peut choisir :

<i>PFON_INI</i>	point A
<i>VECT_ORIE</i>	axe z
<i>PT_ORIGIN</i>	point O : (0,0,H)

En effet, le choix de *VECT\_ORIE* et de *PT\_ORIGIN* implique que l'on se place dans le plan  $z = H$ . Imaginons que l'on ait plusieurs points à orienter [Figure 3.4-c], on vérifie alors que le fond de fissure sera bien orienté en partant de A et en parcourant l'ellipse dans le sens trigonométrique.

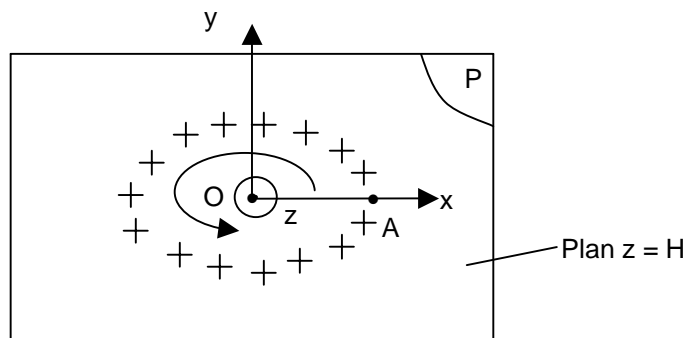


Figure 3.4-c : Orientation d'une fissure elliptique

#### Conseil :

Toujours bien vérifier que la liste ordonnée des points du fond de fissure correspond bien à celle que l'on attend. Cette liste est automatiquement affichée lors du passage dans la commande *DEFI\_FISS\_XFEM*.

## 3.6 Opérande INFO

- / 1 : impression sur le fichier 'MESSAGE'
- des étapes de calcul ;
  - de la méthode choisie pour le calcul des level sets (formules analytiques : méthode 1, ou groupes de mailles : méthode 2) ;
  - du nombre de level sets réajustées ;
  - du nombre de mailles de la zone de la fissure ;
  - de la longueur de la plus petite arête du maillage ;
  - du nombre de points du fond de fissure ;
  - de la distance entre le point initial du fond trouvé et celui introduit ;
  - de la liste ordonnée des coordonnées des points du fond ainsi que leur abscisse curviligne.
- / 2 : même impression que 1 + impression des 4 champs aux nœuds suivants : les 2 level sets, et leurs gradients.
- / 3 : même impression que 2 + impression
- du statut des nœuds ;
  - du nombre de mailles de la zone fissure ;
  - du nombre de mailles et des numéros des mailles enrichies.

## 4 Exemples

### 4.1 Avec des formules analytiques

```
LN = FORMULE ( NOM_PARA=('X','Y','Z'),VALE= 'Z-12.5')
LT = FORMULE ( NOM_PARA=('X','Y','Z'),VALE= 'X-10'.)

FISS= DEFI_FISS_XFEM (  MODELE =  MODELEIN,
                        DEFI_FISS =_F(  FONC_LT   =  LT,
                                         FONC_LN   =  LN, ),
                        GROUP_MA_ENRI =  'VOL',
                        ORIE_FOND=_F(  PFON_INI   =  (2.5,  0., 12.5),
                                         VECT_ORIE  =  (0.,   0., 1.),
                                         PT_ORIGIN  =  (-0.5, 0., 1.5 ),),
                        INFO=2,
                        )
```

### 4.2 Avec des groupes de mailles

```
FISS= DEFI_FISS_XFEM (  MODELE =  MODELEIN,
                        DEFI_FISS =_F(  GROUP_MA_FISS =  'LEVSUP',
                                         GROUP_MA_FOND =  'FONFIS',),
                        GROUP_MA_ENRI =  'VOL',
                        ORIE_FOND=_F(  PFON_INI   =  (0., -2., 0.),
                                         VECT_ORIE  =  (0.,  0., -1.),
                                         PT_ORIGIN  =  (2.,  0., 0.),),
                        INFO=3,
                        )
```