

## Opérateur DEFI\_FOND\_FISS

---

### 1 But

---

Définir un fond de fissure d'un maillage 2D ou 3D et les lèvres supérieure et inférieure de cette fissure.

La définition du fond de la fissure peut se faire à partir d'entités (nœuds ou mailles) ou à partir de groupes d'entités. Les nœuds peuvent être ordonnés dans le sens des abscisses curvilignes croissantes. Si ce n'est pas le cas et si le fond de fissure est donné par une liste de mailles ou de groupes de mailles, l'opérateur ordonnera les nœuds moyennant la définition d'un nœud origine.

Les lèvres supérieure et inférieure sont données par deux listes de mailles ou groupes de mailles.

Cet opérateur crée un concept de type `fond_fiss` qui est utilisable par les opérateurs `CALC_THETA` [U4.82.02], `CALC_G` [U4.82.03] et `POST_K1_K2_K3` [U4.82.05].

## 2 Syntaxe

```
ff [fond_fiss] = DEFI_FOND_FISS      (  
  
    ♦   MAILLAGE = ma ,                [maillage]  
  
    / FOND_FISS =_F (   
  
# Soit on définit une liste de noeuds déjà ordonnés  
  
    ♦   /   ♦   /   GROUP_NO = lgrno,      [l_gr_noeud]  
        /   NOEUD   = lno,                [l_noeud]  
  
# Soit on définit une liste de mailles dont les nœuds peuvent être déjà  
ordonnés ou non, dans ce dernier cas il faut alors définir une origine des  
abscisses par NOEUD_ORIG ou GROUP_NO_ORIG :  
  
    /   GROUP_MA = lgrma,                [l_gr_maille]  
    /   MAILLE   = lma,                  [l_maille]  
♦ /   ♦   /   NOEUD_ORIG = no ,          [l_noeud]  
        /   GROUP_NO_ORIG= grno,        [l_gr_noeud]  
        ♦   /   MAILLE_ORIG = ma ,       [l_maille]  
        /   GROUP_MA_ORIG = grma,       [l_gr_maille]  
    ),  
  
    / FOND_FERME=_F(  
  
# Soit on définit une liste de nœuds déjà ordonnés  
  
    ♦   /   ♦   /   GROUP_NO = lgrno,      [l_gr_noeud]  
        /   NOEUD   = lno,                [l_noeud]  
  
# Soit on définit une liste de mailles dont les nœuds peuvent être déjà  
ordonnés ou non, dans ce dernier cas il faut alors définir une origine  
des abscisses par NOEUD_ORIG ou GROUP_NO_ORIG et une première maille par  
MAILLE_ORIG ou GROUP_MA_ORIG qui donnera le sens de parcours sur la  
courbe fermée :  
  
    /   GROUP_MA = lgrma,                [l_gr_maille]  
    /   MAILLE   = lma,                  [l_maille]  
♦ /   ♦   /   NOEUD_ORIG = no ,          [l_noeud]  
        /   GROUP_NO_ORIG= grno,        [l_gr_noeud]  
        ♦   /   MAILLE_ORIG = ma ,       [l_maille]  
        /   GROUP_MA_ORIG = grma,       [l_gr_maille]  
    ),
```

```

/ ♦ FOND_INF = _F( ♦ / GROUP_NO = lgrno, [l_gr_noeud]
/ NOEUD = lno, [l_noeud]
/ GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
/ MAILLE = lma, [l_maille]
♦ / ♦ / NOEUD_ORIG =no, [l_noeud]
/ GROUP_NO_ORIG=grno, [l_gr_noeud]
♦ / MAILLE_ORIG =ma, [l_maille]
/ GROUP_MA_ORIG=grma, [l_gr_maille]
),

♦ FOND_SUP = _F( _F( ♦ / GROUP_NO = lgrno, [l_gr_noeud]
/ NOEUD = lno, [l_noeud]
/ GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
/ MAILLE = lma, [l_maille]
♦ / ♦ / NOEUD_ORIG =no, [l_noeud]
/ GROUP_NO_ORIG=grno, [l_gr_noeud]
♦ / MAILLE_ORIG =ma, [l_maille]
/ GROUP_MA_ORIG=grma, [l_gr_maille]
),

♦ / ♦ LEVRE_SUP = _F( ♦ / GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
/ MAILLE = lma, [l_maille]
),

♦ LEVRE_INF = _F( ♦ / GROUP_MA = lgrma, [l_gr_maille]
/ MAILLE = lma, [l_maille]
),

/ ♦ NORMALE = (Nx , Ny , Nz) [l_R]

♦ / DTAN_ORIG = (Tox , Toy , Toz), [l_R]
DTAN_EXTR = (Tex , Tey , Tez), [l_R]
/ VECT_GRNO_ORIG = lgrno, [l_gr_noeud]
VECT_GRNO_EXTR = lgrno, [l_gr_noeud]

♦ PREC_NORM = / 1.E-1, [DEFAULT]
/ epsi, [R]

♦ INFO = / 1, [DEFAULT]
/ 2,

)

```

## 3 Opérandes

### 3.1 Opérande MAILLAGE

♦ MAILLAGE = ma

Nom du maillage sur lequel on va définir le fond de fissure et les lèvres.

### 3.2 Description du fond de fissure

Il y a trois possibilités pour définir le fond de fissure :

- 1) mot clé FOND\_FISS dans le cas général (2D et 3D) ;
- 2) mot clé FOND\_FERME dans le cas des fonds de fissure définis par une courbe fermée (en 3D uniquement) ;
- 3) mots clés FOND\_SUP et FOND\_INF si le fond de fissure est défini par deux entités coïncidentes géométriquement (en 2D et en 3D).

#### 3.2.1 Mot clé FOND\_FISS

♦ FOND\_FISS =

Définit l'ensemble des nœuds ordonnés du fond de fissure. Si aucun des mots clés NOEUD\_ORIG ou GROUP\_NO\_ORIG n'est défini, l'ordre de déclaration de ces nœuds, par l'intermédiaire de liste de nœuds ou de mailles segments, définira le sens de parcours de l'abscisse curviligne du fond de fissure. Charge est ainsi laissée à l'utilisateur de composer une liste ordonnée, au sens de la connectivité du maillage, par abscisse curviligne croissante.

Il est également possible de fournir une liste de mailles segments sans se soucier de l'ordre. La donnée d'un nœud origine, pourvu qu'il corresponde bien à une extrémité du chemin défini par les mailles segments, permet alors d'ordonner la liste de nœuds.

L'ensemble des nœuds composant le fond de fissure est précisé par les opérandes :

/ ♦ / GROUP\_NO = lgrno

Liste de groupes de nœuds obligatoirement ordonnés par rapport au fond de fissure avec le dernier nœud de lgrno(I) qui doit être identique au premier nœud de lgrno (I + 1).

/ NOEUD = lno

Liste de nœuds obligatoirement ordonnés par rapport au fond de fissure.

/ ♦ / GROUP\_MA = lgrma

Liste de groupes de mailles de type SEG2 ou SEG3, ordonnées ou non par rapport au fond de fissure.

/ MAILLE = lma

Liste de mailles, ordonnées ou non, de type SEG2 ou SEG3.

◇ / ♦ / NOEUD\_ORIG = no

Nœud unique définissant l'origine. Pour être une extrémité du chemin définissant le fond de fissure, il doit appartenir à une et une seule maille de lgrma ou lma.

/ GROUP\_NO\_ORIG = grno

Groupe de nœud unique, contenant un nœud unique. Pour être une extrémité du chemin définissant le fond de fissure, il doit appartenir à une et une seule maille de lgrma ou lma.

◇ / NOEUD\_EXTR = no

Nœud unique définissant l'extrémité. Cette donnée est facultative et ne sert qu'à vérifier que le nœud extrémité obtenu par l'opérateur est bien celui auquel pense l'utilisateur. Le code s'arrêtera en erreur si ce n'est pas le cas.

/ GROUP\_NO\_EXTR = grno

Groupe de nœud unique, contenant un nœud unique.

Les mots clés GROUP\_MA et MAILLE et par conséquence NOEUD\_ORIG et GROUP\_NO\_ORIG ne peuvent être utilisés qu'en 3D.

En 2D le fond de fissure se réduit à un point défini par GROUP\_NO ou NOEUD.

## 3.2.2 Mot clé FOND\_FERME

♦ FOND\_FERME =

Ce mot clé traite le cas des fonds de fissure définis par une courbe fermée, par exemple une fissure elliptique au sein d'une pièce massive (penny-shaped crack). Le principe est le même que pour un fond de fissure non fermé. Si l'utilisateur souhaite laisser le soin à l'opérateur d'ordonner les nœuds, il faut alors définir en plus une maille d'origine, portant le nœud d'origine, qui définit le sens de parcours de la courbe fermée.

Dans le cas où l'utilisateur choisit de donner des nœuds, il doit s'arrêter à l'avant dernier pour ne pas répéter deux fois le premier nœud.

/ ♦ / GROUP\_NO = lgrno

Liste de groupes de nœuds obligatoirement ordonnés par rapport au fond de fissure avec le dernier nœud de lgrno (I) qui doit être identique au premier nœud de lgrno (I + 1).

/ NOEUD = lno

Liste de nœuds obligatoirement ordonnés par rapport au fond de fissure.

/ ♦ / GROUP\_MA = lgrma

Liste de groupes de mailles, ordonnées ou non, par rapport au fond de fissure de type SEG2 ou SEG3.

/ MAILLE = lma

Liste de mailles, ordonnées ou non, de type SEG2 ou SEG3.

◇ / ♦ / NOEUD\_ORIG = no

Nœud unique définissant l'origine. Pour être une extrémité du chemin définissant le fond de fissure, il doit appartenir à une et une seule maille de lgrma ou lma.

/ GROUP\_NO\_ORIG = grno

Groupe de nœud unique, contenant un nœud unique. Pour être une extrémité du chemin définissant le fond de fissure, il doit appartenir à une et une seule maille de lgrma ou lma.

♦ / MAILLE\_ORIG = ma

Maille unique contenant le nœud origine déjà défini. Elle permet de choisir entre les deux sens de parcours possibles de la courbe fermée.

/ GROUP\_MA\_ORIG = grma

Groupe de maille unique, contenant une maille unique. Elle permet de choisir entre les deux sens de parcours possibles de la courbe fermée.

Le mot clé FOND\_FERME n'a de sens qu'en 3D. Pour déclarer le nœud unique définissant le fond de fissure en 2D, utiliser le mot clé FOND\_FISS.

## 3.2.3 Mots clés FOND\_INF/FOND\_SUP

Ces mots clés permettent de définir un fond de fissure par deux entités (NOEUD, MAILLE, GROUP\_NO, GROUP\_MA) coïncidentes géométriquement dont les éléments de l'une appartiennent à la lèvres inférieure et les éléments de l'autre à la lèvres supérieure.

- FOND\_INF =

Ce mot clé traite le cas d'un fond de fissure défini par des entités géométriques (nœuds, mailles) appartenant à la lèvres inférieure.

- FOND\_SUP =

Ce mot-clé a la même fonctionnalité que FOND\_INF pour la lèvres supérieure. Il faut veiller à ce que les entités de FOND\_SUP coïncident géométriquement avec celles de FOND\_INF.

Les mots clés NOEUD, GROUP\_NO, MAILLE, GROUP\_MA, NOEUD\_ORIG, GROUP\_NO\_ORIG, MAILLE\_ORIG, GROUP\_MA\_ORIG ont la même signification que pour le mot clé FOND\_FISS.

## 3.3 Description des lèvres

Il y a deux méthodes pour définir les lèvres de la fissure :

- 1) à partir de mailles avec les mots clés LEVRE\_SUP / LEVRE\_INF (2D et 3D),
- 2) à l'aide de l'opérateur NORMALE (2D et 3D pour les fissures planes uniquement).

Pour une utilisation postérieure dans POST\_K1\_K2\_K3 (mot clé FOND\_FISS), la connaissance des mailles des lèvres est indispensable, et donc dans ce cas il faut utiliser les mots clés LEVRE\_SUP / LEVRE\_INF.

Pour les fissures 3D non planes, la direction de propagation de la fissure en tout point du fond de fissure sera obtenue par produit vectoriel entre le vecteur tangent au fond de fissure et le vecteur normal à la lèvres en ce point dans les opérateurs CALC\_THETA [U4.82.02] et CALC\_G [U4.82.03].

### 3.3.1 Mot clé LEVRE\_SUP

/ ♦ LEVRE\_SUP =

Définit l'ensemble des faces des éléments qui s'appuient sur la lèvres supérieure de la fissure. L'ensemble de ces faces est précisé par les opérandes :

/ GROUP\_MA = lgrma liste de groupes de mailles.

/ MAILLE = lma liste de mailles.

Les mailles sont donc surfaciques si le modèle est 3D et linéique si le modèle est 2D.

### 3.3.2 Mot clé LEVRE\_INF

◇ LEVRE\_INF =

Définit l'ensemble des faces des éléments 3D qui s'appuient sur la lèvres inférieure de la fissure. Dans le cas où la fissure est sur un plan de symétrie, ce mot clé ne doit pas être renseigné.

L'ensemble de ces faces est précisé par les opérandes :

/ GROUP\_MA = lgrma liste de groupes de mailles.

/ MAILLE = lma liste de mailles.

Les mailles sont donc surfaciques si le modèle est 3D et linéique si le modèle est 2D.

### 3.3.3 Opérande NORMALE

Quand on n'a pas défini les lèvres de la fissure, le mot clé `NORMALE` sert à préciser le vecteur normal au plan de ces lèvres, donc à la fissure elle-même. Ce vecteur est utilisé en tout point du fond de fissure pour déterminer la direction de propagation et suppose donc que la fissure soit plane.

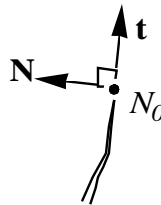
/ ♦ `NORMALE` = ( $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$ )

Le mot clé `NORMALE` permet d'introduire les composantes  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  dans le repère global d'une normale  $\mathbf{N}$  au plan de la fissure avec la convention de sens suivante :

- En 3D,  $\mathbf{n} = \Gamma_0 \wedge \mathbf{N}$ , où  $\mathbf{n}$  est la normale extérieure à la fissure dans le plan des lèvres,  $\Gamma_0$  est le fond de fissure orienté (défini par le mot clé `FOND_FISS`),
- en 2D, la normale  $\mathbf{N}$  est définie telle que le repère  $(N_0, \mathbf{t}, \mathbf{N})$  soit direct, avec :

$N_0$  le nœud du fond de fissure,

$\mathbf{t}$  la direction de propagation de la fissure.



Dans tous les cas  $\mathbf{N}$  est normé automatiquement. Il faut donner les trois composantes du vecteur même en 2D.

### 3.4 Directions de propagation du fond de fissure aux extrémités dans le plan des lèvres en 3D

En 3D, pour un nœud courant du fond de fissure, la direction de propagation est définie comme étant la moyenne des normales aux mailles segments du fond de fissure à sa gauche et à sa droite. Pour les nœuds extrémités, la normale est calculée à partir d'une seule maille, et peut donc être moins précise.

Les mots clés `DTAN_ORIG` et `DTAN_EXTR`, facultatifs, permettent à l'utilisateur d'imposer directement les directions de propagation à l'origine et à l'extrémité du fond.

Ces mots clés n'ont aucun sens dans le cas d'un `FOND_FERME` et sont alors interdits. En effet, tout nœud possède alors une maille segment à sa gauche et à sa droite ; rien ne distingue le nœud origine et la direction de propagation en ce point d'un nœud courant du fond de fissure.

```

♦ / DTAN_ORIG      = (Tox , Toy , Toz) ,      [l_R]
    DTAN_EXTR      = (Tex , Tey , Tez) ,      [l_R]
    / VECT_GRNO_ORIG = lgrno ,                [l_gr_noeud]
    VECT_GRNO_EXTR  = lgrno ,                [l_gr_noeud]
```

#### 3.4.1 Opérande DTAN\_ORIG

♦ / `DTAN_ORIG` = vecteur ( $T_{ox}$  ,  $T_{oy}$  ,  $T_{oz}$ )

Direction  $T_{or}$  à l'origine du fond de fissure orientée dans le sens de la propagation de la fissure.

#### 3.4.2 Opérande VECT\_GRNO\_ORIG

/ `VECT_GRNO_ORIG` = lgrno avec lgrno liste de deux groupes de nœuds.

Direction  $T_{or}$  déduite de la donnée de deux nœuds.

## 3.4.3 Opérande DTAN\_EXTR

/ DTAN\_EXTR = vecteur (Tex , Tey , Tez)

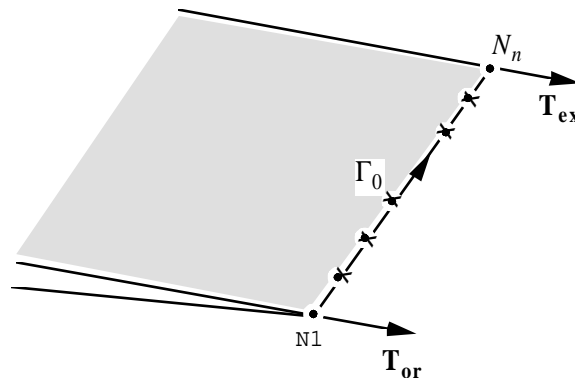
Direction  $T_{ex}$  à l'extrémité du fond de fissure dans le sens de la propagation de la fissure.

## 3.4.4 Opérande VECT\_GRNO\_EXTR

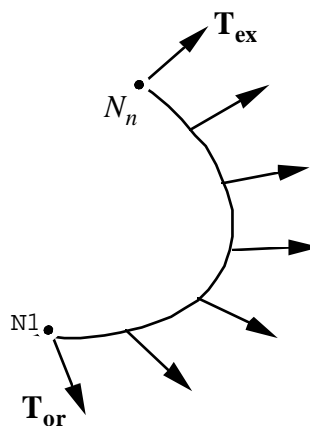
/ VECT\_GRNO\_EXTR = lgrno avec lgrno liste de deux groupes de nœuds.

Direction  $T_{ex}$  déduite de la donnée de deux nœuds.

Exemple 1 : cas d'une fissure plane rectiligne :



Exemple 2 : cas d'une fissure plane courbe :



Remarque :

|  $T_{or}$  et  $T_{ex}$  sont normés automatiquement.

## 3.5 Opérande PREC\_NORM

Cette opérande n'est utile que dans le cas 3D pour une fissure définie à partir de ses lèvres (mots-clé LEVRE\_SUP et LEVRE\_INF), avant un calcul avec POST\_K1\_K2\_K3 [U4.82.05].

Le paramètre PREC\_NORM définit la précision utilisée dans la recherche des nœuds des lèvres qui sont sur des directions normales au fond de fissure : pour l'interpolation des sauts de déplacement, on utilise en effet les nœuds dont la distance  $d$  à la droite normale au fond et passant par un nœud de ce fond vérifie :

$$d < \text{PREC\_NORM} \cdot l_f$$



où  $l_f$  est la distance minimale entre deux nœuds successifs du fond de fissure. Augmenter la valeur de `PREC_NORM` revient à augmenter le nombre de nœuds potentiellement retenus pour le calcul de `K` dans `POST_K1_K2_K3`.

## 4 Phase de vérifications

A l'exécution :

- vérification de l'appartenance des entités (nœuds et mailles) au maillage,
- lorsque le fond de fissure est défini par `GROUP_NO` on vérifie que le dernier nœud du `group_no (I)` est identique au premier nœud du `group_no (I + 1)`,
- vérification que le fond de fissure défini par la donnée d'une liste de maille constitue bien un chemin connexe,
- vérification que le `NOEUD_ORIG` appartient bien à une des mailles et qu'il est bien une des deux extrémités du chemin défini par ces mailles,
- lorsque le fond de fissure est défini par deux groupes `FOND_INF` et `FOND_SUP`, vérification de la coïncidence géométrique de chacun des nœuds de ces groupes,
- dans le cas d'une fissure plane où le mot clé `NORMALE` a été utilisé, on vérifie l'orthogonalité de cette normale avec les 2 vecteurs tangents donnés par les opérandes `DTAN_ORIG` et `DTAN_EXTR`,
- si les lèvres sont définies par leur groupe de mailles, on vérifie que les mailles surfaciques des deux lèvres sont bien distinctes et que les nœuds du fond de fissure appartiennent bien à au moins une maille des lèvres.

Dans la structure de données produites par l'opérateur sont stockées : la liste des nœuds du fond de fissure, la liste des mailles des lèvres, si définies les tangentes aux extrémités, si définie la normale au plan de la fissure, et -si `LEVRE_SUP / LEVRE_INF` sont utilisés- la liste des nœuds des lèvres appartenant aux normales au fond de fissure passant par chacun des nœuds du fond.

## 5 Exemples

### 5.1 Fissure entière définie par différents types d'entités en 3D

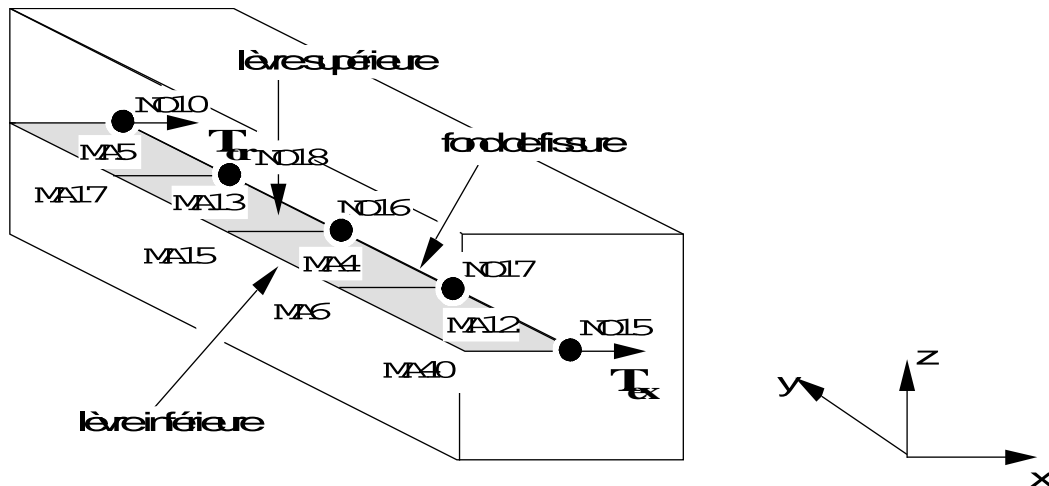
Le fond de fissure est défini par une liste de groupes de nœuds, la lèvre supérieure par une liste de mailles, la lèvre inférieure par une liste de groupes de mailles.

```
Fiss1 = DEF_FOND_FISS( MAILLAGE = ma,  
    FOND_FISS = _F (GROUP_NO = ('GRN1', 'GRN2', 'GRN3'),),  
    LEVRE_SUP = _F (MAILLE = ('MA5', 'MA13', 'MA4', 'MA12'),),  
    LEVRE_INF = _F (GROUP_MA = ( ' GRM1 ' , ' GRM2 ' ),),  
    DTAN_ORIG = ( 1., 0., 0.),  
    DTAN_EXTR = ( 1., 0., 0.),  
)
```

avec les groupes suivants définis dans le maillage `ma` :

```
GRN1 : {N010 N018}          GRN2 : {N018 N016 N017}  
GRN3 : {N017 N015}  
GRM1 : {MA17 MA15 MA6}     GRM2 : {MA40}
```

Le fond de fissure est ici constitué des nœuds `N010`, `N018`, `N016`, `N017`, `N015` de façon ordonnée.

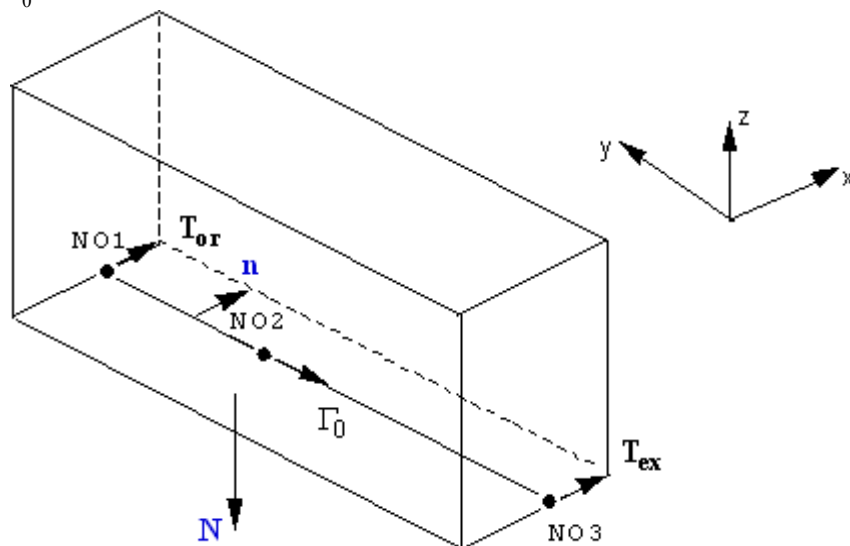


## 5.2 Utilisation de l'opérateur NORMALE (fissure plane en 3D)

```
fiss = DEFI_FOND_FISS (  MAILLAGE           = ma,
                          FOND_FISS = _F(NOEUD=('NO1','NO2','NO3')),
                          DTAN_ORIG   = ( 1.,0.,0.),
                          DTAN_EXTR   = ( 1.,0.,0.),
                          NORMALE     = ( 0.,0.,-1.),
                          )
```

On définit la normale  $N$  au plan de la fissure.

La direction  $\mathbf{n}$  de la normale au fond de fissure dans le plan des lèvres de la fissure est déterminée par  $\mathbf{n} = \Gamma_0 \wedge N$ .



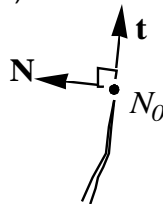
## 5.3 Fissure en 2D

Le fond de fissure est défini par le nœud  $N_{10}$  du maillage  $ma$ . Les groupes des mailles des lèvres sont notés respectivement  $GMSUP$  et  $GMINF$ . La fissure peut être définie soit à partir de la normale :

```
fiss = DEFI_FOND_FISS (  MAILLAGE =  ma,
                          FOND_FISS =  _F(NOEUD = 'N10'),
                          NORMALE    =  (-1.,1.,0.),
                          )
```

soit à partir des mailles des lèvres :

```
fiss = DEFI_FOND_FISS (  MAILLAGE =  ma,
                          FOND_FISS =  _F(NOEUD = 'N10'),
                          LEVRE_SUP  =  'GMSUP',
                          LEVRE_INF  =  'GMINF',
                          )
```

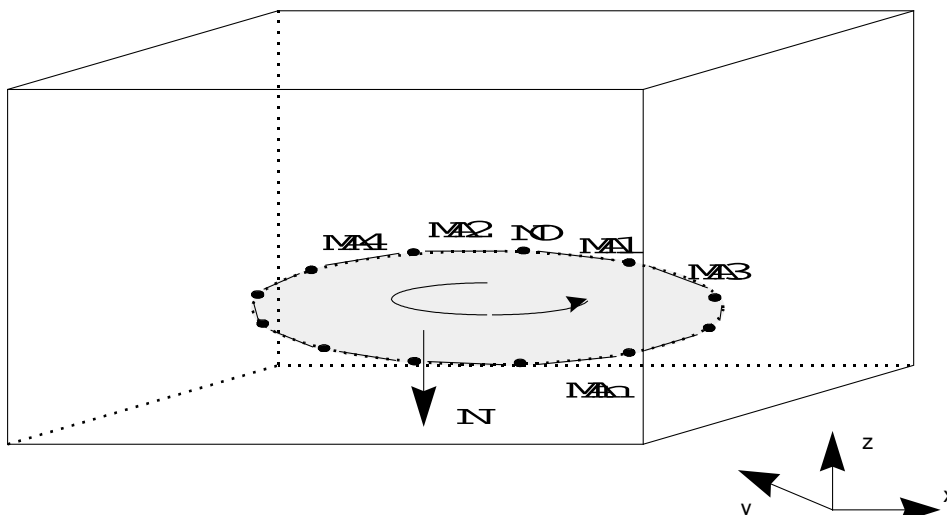


## 5.4 Fond de fissure fermé avec ordonnancement des noeuds

```
fiss = DEFI_FOND_FISS( MAILLAGE      =ma,
                        FOND_FERME=_F( MAILLE=('MA3','MA1','MA2'...),
                                       GROUP_NO_ORIG= 'NO',
                                       MAILLE_ORIG  = 'MA2'      ),
                        NORMALE        = ( 0.,0.,-1.),
                        )
```

On définit la normale  $\mathbf{N}$  au plan de la fissure. La direction  $\mathbf{n}$  de la normale au fond de fissure dans le plan des lèvres de la fissure est déterminée par  $\mathbf{n} = \mathbf{F}_0 \wedge \mathbf{N}$ .

L'ordre de déclaration des mailles dans la liste n'a aucune importance. L'opérateur vérifie que le nœud  $NO$  appartient bien à la maille  $MA2$  et que l'ensemble des mailles segments fournies forme bien une courbe connexe fermée. L'ordre des nœuds dans le concept produit sera celui donné par la flèche du dessin ci-dessous, partant de  $NO$ .



## 5.5 Fond de fissure définit par deux groupes de nœuds coïncidents

Le fond de fissure du maillage `ma` est défini par 2 groupes de nœuds :

- 1) `'FONDINF'` : groupe de nœuds appartenant à la lèvre inférieure.
- 2) `'FONDSUP'` : groupe de nœuds appartenant à la lèvre supérieure dont les nœuds coïncident géométriquement avec ceux du groupe `'FONDINF'`

```
fiss = DEFI_FOND_FISS ( MAILLAGE = ma,  
                        FOND_INF = _F(GROUP_NO='FONDINF'),  
                        FOND_SUP= _F(GROUP_NO='FONDSUP'),  
                        LEVRE_INF= _F(GROUP_MA='LEVINF'),  
                        LEVRE_SUP= _F(GROUP_MA='LEVSUP'),  
                        DTAN_ORIG=(0.,1.,0.),  
                        DTAN_EXTR=(1.,0.,0.),)
```