

Opérateur PROPA_FISS

1 But

Le but de l'opérateur `PROPA_FISS` est de faire propager une fissure, cette fissure étant définie avec la méthode X-FEM. Deux méthodes sont disponibles :

- une méthode par intégration numérique des équations de propagation du fond de fissure (`METHODE_PROPA='HAMILTON'`) : cette méthode n'est pour l'instant opérationnelle qu'en 3D, pour des mailles de type HEXA (dont les faces opposées sont parallèles).

- une méthode utilisant un maillage intermédiaire surfacique de la lèvres de la fissure (`METHODE_PROPA='MAILLAGE'`) : cette méthode est disponible en 2D et en 3D pour tous types d'éléments finis. La fissure initiale doit elle aussi être définie à l'aide d'un maillage.

L'opérateur `PROPA_FISS` calcule ainsi la fissure résultante d'une propagation en fatigue d'après une loi de Paris locale, à partir de la fissure précédente, et du tableau des facteurs d'intensité des contraintes issus de `CALC_G` (ou de `POST_K1_K2_K3`, pour la méthode `MAILLAGE` uniquement).

Pour les fissures en demi-droite (en 2D) ou planes à fond rectiligne (en 3D), le maillage surfacique de la fissure initiale peut être créé par l'opérateur `PROPA_FISS` (`METHODE_PROPA = 'INITIALISATION'`).

L'opérateur produit :

- soit un concept de type `fiss_xfem` définissant la fissure propagée (cas `METHODE_PROPA='HAMILTON'`) ;
- soit le maillage de la fissure initiale (cas `METHODE_PROPA='INITIALISATION'`) ;
- soit le maillage de la fissure propagée (cas `METHODE_PROPA='MAILLAGE'`) .

L'aspect théorique de la propagation des level-sets pour la méthode X-FEM est abordé dans [R7.02.12].

2 Syntaxe

```

PROPA_XFEM (

    ♦ METHODE_PROPA = / 'HAMILTON'
                      / 'MAILLAGE'
                      / 'INITIALISATION'

# Si METHODE_PROPA = 'HAMILTON'
    ♦ MODELE = mo, [modele]
    ♦ TABLE = sif, [table]
    ♦ RAYON = ray, [ R ]
    ♦ FISSURE = CO('FISS'), [ TXM ]
    ◇ METHODE = / 'SIMPLEXE', [DEFAULT]

# Si METHODE_PROPA = 'MAILLAGE'
    ♦ MA_STRUC = mast, [maillage]
    ♦ MA_XFEM1 = max1, [maillage]
    ♦ FISSURE1 = FISS1, [ fiss_xfem ]
    ◇ DTAN_ORIG = (xo,yo,zo), [l_R]
    ◇ DTAN_EXTR = (xe,ye,ze), [l_R]
    ◇ METHODE_POSTK = /1
                      /2
                      /3
    ♦ TABLE = sif, [table]
    ♦ ITERATION = i, [ I ]
    ◇ HYPOTHESE = / 'PLAN'
                  / 'NON_PLAN' [DEFAULT]
    ◇ MA_XFEM2 = CO('max2'), [TXM]
    ♦ MA_TOT2 = CO('matot2'), [TXM]

# Si METHODE_PROPA = 'INITIALISATION',
    ♦ MA_STRUC = mast, [maillage]
    ♦ FORM_FISS = / 'DEMI_DROITE'
                  / 'DEMI_PLAN'

# Cas DEMI_DROITE (en 2D)
    ♦ PFON = (xf,yf,zf), [l_R]
    ♦ DTAN = (xt,yt,z), [l_R]

# Cas DEMI_PLAN (en 3D)
    ♦ POINT_ORIG = (xo,yo,zo), [l_R]
    ♦ POINT_EXTR = (xe,ye,ze), [l_R]
    ♦ DTAN = (xt,yt,z), [l_R]
    ♦ NB_POINT_FOND = nbfond, [I]

    ◇ MA_XFEM2 = CO('max2'), [TXM]
    ♦ MA_TOT2 = CO('matot2'), [TXM]

# Finsi

    ♦ LOI_PROPA = _F (
    ♦ LOI = / 'PARIS',
    ♦ M = m, [ R ]
    ◇ / C = c, [R]
      / DA_MAX = dmax, [R]
      ),

# Impression d'informations
    ◇ INFO = / 1 [DEFAULT]
              / 2

)

```

3 Opérands communs à toutes les options

3.1 Opérande METHODE_PROPA

```
♦ METHODE_PROPA = / 'HAMILTON',
                  / 'MAILLAGE',
                  / 'INITIALISATION',
```

Deux méthodes sont disponibles pour faire propager une fissure définie avec la méthode X-FEM :

- une méthode par intégration numérique des équations de propagation du fond de fissure (METHODE_PROPA='HAMILTON') : cette méthode n'est pour l'instant opérationnelle qu'en 3D, pour des mailles de type HEXA (dont les faces opposées sont parallèles).
- une méthode utilisant un maillage intermédiaire surfacique de la lèvres de la fissure (METHODE_PROPA='MAILLAGE') : cette méthode est disponible en 2D et en 3D pour tous types d'éléments finis.

Dans le cas de la méthode 'MAILLAGE', la fissure initiale doit elle aussi être définie à l'aide d'un maillage, avec des règles de nommage spécifiques. Par exemple en 3D, le fond s'appelle FOND_0 et contient les nœuds NXA1, NXB1, ... ; la lèvres s'appelle FISS_0 et contient les mailles surfaciques MXA1, MXB1, ... ; la maille surfacique MXA1 contient les nœuds NXA0, NXB0, NXA1 et NXB1.

Pour faciliter la définition de cette fissure initiale dans les cas les plus usuels (fissure en demi-droite (en 2D) ou plane à fond rectiligne (en 3D)), il faut utiliser la méthode 'INITIALISATION'.

Remarque sur les différentes méthodes :

La méthode Hamilton est théoriquement la plus précise ; la méthode de projection sur un maillage intermédiaire est quant à elle plus approchée, mais elle permet d'avoir des résultats très satisfaisants notamment pour les propagations en mode I pur.
Ces deux méthodes sont encore en cours de validation.

3.2 Mot clé LOI_PROPA

```
♦ LOI_PROPA = _F(
  ♦ LOI = / 'PARIS',
  ♦ M = m, [ R ]
  ♦ / C = c, [R]
  / DA_MAX = dmax, [R]
```

Le mot clé facteur LOI_PROPA définit la loi de propagation utilisée.

Pour l'instant, la seule loi disponible est une loi de Paris, dont le coefficient M doit obligatoirement être renseigné.

L'incrément de propagation du fond de fissure entre deux itérations est :

- soit calculé automatiquement en fonction du raffinement du maillage pour la méthode 'HAMILTON' (incrément maximal correspondant à la condition CFL de la résolution numérique explicite des équations de propagation) ;
- soit calculé à partir des coefficients C et M de la loi de Paris pour la méthode 'MAILLAGE' si C est fourni ;
- soit imposé directement par l'utilisateur pour la méthode 'MAILLAGE' si DA_MAX est fourni. En 3D, DA_MAX correspond à l'incrément du nœud du fond qui se propage le plus vite.

3.3 Opérande INFO

- / 1 : impression sur le fichier 'MESSAGE'
 - des étapes de calcul
- / 2 : impression sur le fichier 'MESSAGE'
 - des mêmes informations qu'en INFO=1
 - méthode 'HAMILTON' : paramètres de convergence des boucles et étapes d'enrichissement de la SD fissure
 - méthode 'MAILLAGE' et 'INITIALISATION' : impression du maillage surfacique de la fissure au format Aster

4 Opérandes spécifiques à la méthode HAMILTON

4.1 Opérande MODELE

♦ `MODELE = mo, [modele]`

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

Le modèle doit être renseigné avec le nom du modèle contenant la fissure que l'on veut propager au pas de temps suivant.

4.2 Opérande TABLE

♦ `TABLE = sif, [table]`

Le mot-clé facteur `TABLE` doit être renseigné avec le tableau des facteurs d'intensité des contraintes en fond de fissure, calculés par l'opérateur `CALC_G`.

4.3 Opérande RAYON

♦ `RAYON = ray, [R]`

Le mot-clé facteur `RAYON` sert à définir le rayon du tore autour du fond de fissure, dans lequel les résidus vont être estimés pour les étapes de réinitialisation et réorthogonalisation. Ce tore définit la zone où les level sets doivent être suffisamment proches de fonctions de distance signées.

Pour pouvoir obtenir des level sets « utilisables », notamment pour le post-traitement des facteurs d'intensité de contraintes, la valeur de ce rayon doit être au moins supérieure au rayon supérieur d'intégration de l'opérateur `CALC_G`.

4.4 Opérande METHODE

♦ `METHODE = / 'SIMPLEXE' [DEFAULT]`

Le mot-clé méthode renseigne sur la méthode utilisée pour résoudre les équations de propagation. Pour plus de détails concernant les algorithmes relatifs à cette méthode, on pourra se référer à la documentation de référence [R7.02.12].

4.5 Opérande FISSURE

♦ `FISSURE = CO('FISS'),`

Cet opérande obligatoire permet de définir le nom du résultat produit par l'opérateur `PROPA_FISS`.

Le résultat produit est un concept de type `fiss_xfem` définissant la fissure propagée.

5 Opérandes spécifiques à la méthode MAILLAGE

5.1 Opérandes MA_STRUC

♦ `MA_STRUC = mast,` [maillage]

Cet opérande permet de définir le maillage de la structure saine (i.e. sans fissure).

5.2 Opérandes MA_XFEM1 et FISSURE1

♦ `MA_XFEM1 = max1,` [maillage]
♦ `FISSURE1 = FISS1,` [fiss_xfem]

Cet opérande permet de définir la fissure que l'on veut propager à l'aide de son maillage surfacique `MA_XFEM1`, et du concept `FISS1` produit par l'opérateur `DEFI_FISS_XFEM`.

Le maillage de la fissure `max1` doit respecter certaines règles de nommage, cf. §3.

5.3 Opérande ITERATION

♦ `ITERATION = iter,` [I]

Cet opérande permet de définir le numéro de l'itération du calcul de propagation. La première itération (propagation de la fissure initiale) est l'itération 1.

Cet opérande facilite la réalisation des calculs : il est ainsi possible de relancer un calcul de propagation sur une fissure ayant déjà été propagée `nb_init` fois.

5.4 Opérandes DTAN_ORIG et DTAN_EXTR

♦ `DTAN_ORIG = (xo,yo,zo),` [1_R]
♦ `DTAN_EXTR = (xe,ye,ze),` [1_R]

Ces opérandes permettent de préciser, en 3D, la direction de propagation des nœuds origine et extrémité de la fissure. Si ces opérandes ne sont pas spécifiés, la direction de propagation est orthogonale au fond de fissure.

5.5 Opérandes TABLE et METHODE_POSTK

♦ `TABLE = sif,` [table]
♦ `METHODE_POSTK = /1`
 /2
 /3

Le mot-clé facteur `TABLE` doit être renseigné avec le tableau des facteurs d'intensité des contraintes en fond de fissure, calculés par les opérateurs `CALC_G` ou `POST_K1_K2_K3`.

Si la table a été calculée avec `POST_K1_K2_K3`, il faut obligatoirement indiquer avec quelle méthode d'interpolation des sauts de déplacements doivent être calculés les facteurs d'intensité des contraintes (`METHODE_POSTK = 1, 2 ou 3`).

Si le mot clé `METHODE_POSTK` est absent, on suppose que la table a été calculée avec `CALC_G`.

5.6 Opérande HYPOTHESE

```
◇ HYPOTHESE = / ' PLAN '
              / ' NON_PLAN ' [DEFAULT]
```

On peut forcer une propagation plane de la fissure en indiquant `HYPOTHESE='PLAN'`. Par défaut, la propagation est non plane, i.e. la fissure peut bifurquer si elle est sollicitée en mode mixte.

5.7 Opérandes `MA_XFEM2` et `MA_TOT2`

```
◇ MA_XFEM2 = CO('max2'), [TXM]
◆ MA_TOT2  = CO('matot2'), [TXM]
```

Ces opérandes permettent de définir :

- le nom du maillage surfacique correspondant à la fissure propagée `MA_XFEM2`
- le nom du maillage total, i.e. la concaténation du maillage de la structure saine (cf. opérande `MA_STRUC`) et du maillage de la fissure propagée `MA_XFEM2`.

C'est ce maillage total `MA_TOT2` qui doit être utilisé pour définir le modèle et la nouvelle fissure dans `DEFI_FISS_XFEM`.

6 Opérands spécifiques à la méthode INITIALISATION

6.1 Opérands MA_STRUC

- ♦ `MA_STRUC = mast, [maillage]`
Cet opérateur permet de définir le maillage de la structure saine (i.e. sans fissure).

6.2 Opérands FORM_FISS

- ♦ `FORM_FISS = / 'DEMI_DROITE',
/ 'DEMI_PLAN'`

Cet opérateur permet de définir le type de la fissure : une demi-droite en 2D ou une fissure plane à fond rectiligne en 3D.

6.3 Cas DEMI_DROITE : opérands PFON et DTAN_DTAN

- ♦ `PFON = (xf,yf,zf), [1_R]`
- ♦ `DTAN = (xt,yt,zt), [1_R]`

Ces opérands permettent de définir la fissure initiale en 2D en donnant la coordonnée du point du fond de fissure `PFON` et la direction de propagation de celle-ci `DTAN`.

6.4 Cas DEMI_PLAN : opérands PFON, POINT_ORIG, POINT_EXTR et NB_POINT_FOND

- ♦ `POINT_ORIG = (xo,yo,zo), [1_R]`
- ♦ `POINT_EXTR = (xe,ye,ze), [1_R]`
- ♦ `DTAN = (xt,yt,zt), [1_R]`
- ♦ `NB_POINT_FOND = nbfond, [I]`

Ces opérands permettent de définir la fissure initiale en 3D en donnant les coordonnées des points origine et extrémité du fond de fissure et la direction de propagation de celle-ci `DTAN`. Le fond de fissure sera discrétisé avec `nbfond` noeuds.

6.5 Opérands MA_XFEM2 et MA_TOT2

- ♦ `MA_XFEM2 = CO('max2'), [TXM]`
- ♦ `MA_TOT2 = CO('matot2'), [TXM]`

Ces opérands permettent de définir :

- le nom du maillage surfacique correspondant à la fissure initiale `MA_XFEM2`
- le nom du maillage total, i.e. la concaténation du maillage de la structure saine (cf. opérateur `MA_STRUC`) et du maillage de la fissure `MA_XFEM2`.

C'est ce maillage total `MA_TOT2` qui doit être utilisé pour définir le modèle et la fissure dans `DEFI_FISS_XFEM`.

7 Exemples de propagation de fissure avec X-FEM

Trois cas-tests permettent de valider la propagation de fissures avec X-FEM dans une plaque :

- sslp314 : propagation en 2D d'une fissure inclinée ;
- sslv314 : propagation en 3D d'une fissure droite (mode I pur) ;
- sslv315 : propagation en 3D d'une fissure inclinée.

Les deux exemples ci-dessous correspondent à la propagation en 3D d'une fissure plane à fond rectiligne.

7.1 Cas METHODE_PROPA='HAMILTON'

```
MAST = LIRE_MALLAGE();
MODELE = AFFE_MODELE( MALLAGE=MAST,
                      AFPE=_F( GROUP_MA=('VOL',),
                                PHENOMENE='MECANIQUE',
                                MODELISATION='3D',),
                      );

FISS[0] = DEFI_FISS_XFEM( MODELE=MODELE,
                          DEFI_FISS=_F(
                                FORM_FISS = 'DEMI_PLAN',
                                PFON      = (0., 2., 9.),
                                NORMALE   = (0., 0., 1.),
                                DTAN      = (0., 1., 0.),
                                GROUP_MA_ENRI='VOL',
                          );

for i in range(nbcalc) :

    MODELX[i] =MODI_MODELE_XFEM(MODELE_IN=MODELE,FISSURE=FISS[i],INFO=1,);

    CHXFEM[i] =AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODELX[i],LIAISON_XFEM='OUI',INFO=1,);

    RESU[i] =STAT_NON_LINE( MODELE=MODELX[i],
                            ...);

    SIF[i] =CALC_G( RESULTAT=RESU[i],
                    OPTION='CALC_K_G',
                    THETA=_F( FISSURE = FISS[i],
                              R_INF   = RI,
                              R_SUP   = RS,)),
    );

    FISS[i+1] = CO('FISS_%d'%(i+1))
    PROPA_FISS( MODELE=MODELX[i],
                TABLE=SIF[i],
                METHODE_PROPA='HAMILTON',
                METHODE='SIMPLEXE',
                LOI_PROPA=_F(LOI = 'PARIS',
                              C = 1.,
                              M = 1.),
                RAYON=RS,
                FISSURE=FISS[i+1],);
```

7.2 Cas METHODE_PROPA='MALLAGE'

```
MAST = LIRE_MALLAGE();
PROPA_FISS( METHODE_PROPA = 'INITIALISATION',
```

```
MA_STRUC      =  MAST,
MA_XFEM2      =  MAX[0],
MA_TOT2      =  MA[0],
FORM_FISS     =  'DEMI_PLAN',
POINT_ORIG    =  (0., 2., 9.),
POINT_EXTR    =  (1., 2., 9.),
DTAN          =  (0., 1., 0.),
NB_POINT_FOND =  5,
);

for i in range(nbcalc) :

    MODELE[i]=AFFE_MODELE( MAILLAGE=MA[i],
                           AFFE=  (_F( GROUP_MA=('VOL',),
                                         PHENOMENE='MECANIQUE',
                                         MODELISATION='3D',),
                                     _F(GROUP_MA=('SURFINF','SURFSUP',),
                                         PHENOMENE='MECANIQUE',
                                         MODELISATION='3D',),
                                     )
                           );

    FF[i]=DEFI_FISS_XFEM( DEFI_FISS=_F(GROUP_MA_FISS='FISS_'+str(i),
                                         GROUP_MA_FOND='FOND_'+str(i)),
                         GROUP_MA_ENRI='VOL',
                         ORIE_FOND=_F(...),
                         MODELE=MODELE[i],
                         );

    MODELX[i]=MODI_MODELE_XFEM(MODELE_IN=MODELE[i],FISSURE=FF[i],INFO=1,);

    RESU[i]=STAT_NON_LINE( MODELE=MODELX[i],
                           ...);

    SIF[i]=CALC_G( RESULTAT=RESU[i],
                   OPTION='CALC_K_G',
                   THETA=_F( FISSURE=FF[i],
                             R_INF=RI,R_SUP=RS,),
                   );

    MAX[i+1]  =  CO('MAX_%d'%(i+1))
    MA[i+1]   =  CO('MA_%d'%(i+1))
    PROPA_FISS( TABLE=SIF[i],
                METHODE_PROPA='MAILLAGE',
                LOI_PROPA=_F(LOI='PARIS',
                             M=1.,
                             DA_MAX=0.3,),
                MA_STRUC=MAILLAG1,
                MA_XFEM1=MAX[i],
                MA_XFEM2=MAX[i+1],
                MA_TOT2=MA[i+1],
                ITERATION=i+1,
                FISSURE1=FF[i],
                HYPOTHESE='PLAN',
                INFO=2,);
```