

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 types de méthodes sont disponibles :

- une méthode par intégration numérique des équations de propagation du fond de fissure (`METHODE_PROPA='SIMPLEXE'` ou `'UPWIND'`) : cette méthode est disponible en 2D et 3D pour tous types d'éléments finis. La fissure initiale peut être définie sur le maillage du modèle ou sur un maillage auxiliaire. Cette dernière solution permet une réduction du temps de calcul et une meilleure représentation de la fissure.
- 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='SIMPLEXE'` ou `'UPWIND'`) ;
- 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_FISS (

    ♦ METHODE_PROPA    = / 'SIMPLEXE'
                        / 'UPWIND'
                        / 'MAILLAGE'
                        / 'INITIALISATION'
                        / 'GEOMETRIQUE'

# Si METHODE_PROPA = 'SIMPLEXE' ou 'UPWIND' ou 'GEOMETRIQUE'
    ♦ MODELE           = mo, [modele]
    ◇ TEST_MAIL        = / 'NON' [DEFAULT]
                        / 'OUI'
# Si TEST_MAIL='OUI'
    ◇ ITERATIONS       = / iters, [I]
                        / 5, [DEFAULT]
    ◇ TOLERANCE        = / toler, [R]
                        / 5.0, [DEFAULT]
# Fin si

    ◇ ZONE_MAJ         = / 'TORE' [DEFAULT]
                        / 'TOUT'

# Si ZONE_MAJ='TORE'
    ◇ RAYON_TORE       = raytor, [R]

    ♦ FISSURE          = _F(
        ♦ FISS_ACTUELLE = fiss, [fiss_xfem]
        ♦ FISS_PROPAGEE = CO('FISS'), [TXM]

        # Si TEST_MAIL='NON',
            ♦ TABLE     = sif, [table]
            ◇ NB_POINT_FOND = nbptfd, [I]
        # Fin si

    ),

    ♦ DA_MAX           = da, [R]
    ♦ RAYON            = ray, [R]
# Si TEST_MAIL='NON',
    ◇ COMP_LINE        = F(
        ♦ COEF_MULT_MINI = cmin, [R]
        ♦ COEF_MULT_MAXI = cmax, [R]
    ),

# Si METHODE_PROPA = 'MAILLAGE'
    ♦ MAIL_STRUC       = mast, [maillage]
    ♦ ITERATION         = iter, [ I ]
    ♦ DA_MAX           = da, [R]

    ♦ FISSURE          = _F(
        ♦ MAIL_ACTUEL   = max1 [ mailage ]
        ♦ FISS_ACTUELLE = FISS1 [ fiss_xfem ]
        ◇ MAIL_PROPAGE  = CO('max2'), [TXM]
        ◇ GROUP_MA_FOND = / 'FOND' [DEFAULT]
                        / grmaff [TXM]
        ◇ GROUP_MA_FISS = / 'FISS' [DEFAULT]
                        / grmafi, [TXM]
        ♦ TABLE        = sif, [table]
        ◇ DTAN_ORIG     = (xo,yo,zo), [l_R]
        ◇ DTAN_EXTR     = (xe,ye,ze), [l_R]
```

```

    ♦ MAIL_TOTAL = CO('matot2'), [TXM]

    ♦ COMP_LINE = F(
        ♦ COEF_MULT_MINI = cmin, [R]
        ♦ COEF_MULT_MAXI = cmax, [R]
    ),

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

    ♦ GROUP_MA_FOND = / 'FOND' [DEFAULT]
                     / grmaff [TXM]
    ♦ GROUP_MA_FISS = / 'FISS' [DEFAULT]
                     / grmafi, [TXM]
    ♦ MAIL_FISS = CO('max2'), [TXM]
    ♦ MAIL_TOTAL = CO('matot2'), [TXM]

# Cas DEMI_DROITE (en 2D)
    ♦ PFON = (xf,yf,zf), [1_R]
    ♦ DTAN = (xt,yt,zt), [1_R]
# Cas DEMI_PLAN (en 3D)
    ♦ 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]
# Cas ELLIPSE (en 3D)
    ♦ CENTRE = (xo,yo,zo), [1_R]
    ♦ DEMI_GRAND_AXE = a, [R]
    ♦ DEMI_PETIT_AXE = b, [R]
    ♦ VECT_X = (vxx, vxy, vxz), [1_R]
    ♦ VECT_Y = (vyx, vyy, vyz), [1_R]
    ♦ ANGLE_ORIG = angos, [R]
    ♦ ANGLE_EXTR = ange, [R]
    ♦ NB_POINT_FOND = nbpf, [I]

# Fin si

# Si (METHODE_PROPA = 'SIMPLEXE' ou 'UPWIND' et TEST_MAIL = 'NON')
# ou ( METHODE_PROPA = 'MAILLAGE')
♦ LOI_PROPA = _F (
    ♦ LOI = / 'PARIS',
    # Si LOI = 'PARIS'
        ♦ M = m, [R]
        ♦ N = n, [R]
        ♦ C = c, [R]
    # Fin si

    ♦ MATER = ma, [mater]
),

# Impression d'informations
♦ INFO = / 0
          / 1 [DEFAULT]
          / 2
)

```

3 Opérandes communs à toutes les options

3.1 Opérande METHODE_PROPA

```
♦      METHODE_PROPA      = /  'SIMPLEXE',  
                               /  'UPWIND',  
                               /  'MAILLAGE',  
                               /  'INITIALISATION',  
                               /  'GEOMETRIQUE',
```

Trois 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='SIMPLEXE' et 'UPWIND') : pour l'instant la méthode 'UPWIND' est la plus fiable mais elle peut être seulement appliquée à des maillages très réguliers (voir l'opérande GRILLE_AUX et la documentation de référence [R7.02.12]).

La méthode 'SIMPLEXE' n'est pas encore très robuste mais elle peut être appliquée à des maillages quelconques. Pour plus de détails concernant les algorithmes relatifs à ces méthodes, on pourra se référer à la documentation de référence [R7.02.12].

•**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, 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.

•**une méthode utilisant une approche purement géométrique** (METHODE_PROPA='GEOMETRIQUE') : cette méthode utilisant une propagation vectorielle du fond de fissure et de sa base locale ainsi qu'une estimation des distances par rapport à ce dernier dans cette base locale est disponible en 2D et en 3D pour tous types d'éléments finis sans aucune restriction.

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 par intégration numérique des équations de propagation 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.

La méthode purement géométrique est une nouvelle méthode qui a été introduite récemment. Elle est plus rapide que les deux autres méthodes.

Ces trois méthodes sont encore en cours de validation.

3.2 Mot clé LOI_PROPA

```
# Si ( METHODE_PROPA = 'SIMPLEXE' ou 'UPWIND' ou 'GEOMETRIQUE' et  
RAFF_MAIL='NON')  
# ou ( METHODE_PROPA = 'MAILLAGE' ou 'INITIALISATION')  
♦ LOI_PROPA = _F (  
♦ LOI = / 'PARIS',
```

```
# Si LOI='PARIS'
    ♦ M      = m,          [R]
    ♦ N      = n,          [R]
    ♦ C      = c,          [R]
# Fin si
♦ MATER      = ma ,      [mater ] ),
```

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

Pour l'instant, la seule loi disponible est une loi de Paris, dans la forme suivante:

$$\frac{da}{dN} = \frac{C}{(1-R)^n} \cdot \Delta K^m$$

Les coefficients C , m et n de cette loi doivent obligatoirement être renseignés. Le terme $(1-R)^n$ permet de considérer l'effet du rapport de charge sur la vitesse de propagation de la fissure. Bien que fortement déconseillé, on peut négliger cet effet en donnant $n=0$.

La seuil de propagation de la fissure n'est pas considérée.

Remarque :

Pour l'instant toutes les fissures du modèle doivent propager dans le même matériau. En fait un seul matériau peut être donné et il est utilisé pour toutes les fissures du modèle. En plus la loi de Paris ne permet pas de considérer le seuil de propagation de la fissure.

Attention :

Les constantes de la loi de propagation doivent être données en façon telle que l'unité de la vitesse d'avancement da/dN est égale à $L/cycles$, où L est l'unité utilisée dans le modèle pour la longueur.

3.3 Opérande `DA_MAX`

```
♦ DA_MAX = da,          [R]
```

Dans le cas où il y a une seule fissure dans le modèle `mo`, cet opérande définit l'avance maximale de la fissure.

Dans le cas où il y a plusieurs fissures dans le modèle `mo`, cet opérande définit l'avance maximale de la fissure qui propage plus vite. Le nombre de cycles de fatigue est calculé en utilisant la vitesse du point du fond de la fissure qui propage la plus vite. Ce nombre de cycles est utilisé pour toutes les fissures du modèle.

3.4 Mot clé facteur `COMP_LINE`

```
# Si TEST_MAIL='NON',
♦ COMP_LINE = _F( ♦ COEF_MULT_MINI = cmin,          [R]
                  ♦ COEF_MULT_MAXI = cmax,          [R]
                ),
```

Cet opérande peut être utilisé dans tous les cas où le comportement du modèle fissuré est linéaire. En fait dans ce cas la solution du modèle est toujours proportionnelle à la valeur du chargement. On peut donc réduire le temps du calcul en utilisant cette propriété.

D'abord on calcule les facteurs d'intensité des contraintes en utilisant **une configuration de référence** des chargements. Cette configuration peut être coïncidente avec la condition de chargement maximal ou minimal du cycle de fatigue ou pas. Un seul numéro d'ordre est contenu dans le tableau des facteurs d'intensité des contraintes. On donne ce tableau à l'opérande `TABLE`.

Ensuite on peut donner les conditions de chargement minimal et maximal du cycle de fatigue en utilisant les paramètres `COEF_MULT_MINI` et `COEF_MULT_MAXI` de l'opérande `COMP_LINE`. Les deux valeurs sont les constantes par lesquelles on doit multiplier les chargements de la configuration de référence pour obtenir les conditions de chargement minimal et maximal du cycle de fatigue. Donc si la configuration de référence choisie coïncide avec la condition de chargement minimal ou maximal, la valeur de `COEF_MULT_MINI` ou `COEF_MULT_MAXI`, respectivement, est égale à 1.

3.5 Opérande INFO

- / 0 : impression sur le fichier 'MESSAGE'
 - des étapes de calcul
- / 1 : impression sur le fichier 'MESSAGE'
 - des mêmes informations qu'en `INFO=1`
 - méthode 'UPWIND' et 'SIMPLEXE' : 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
- / 2 : Impression sur le fichier 'MESSAGE'
 - des même informations qu'en `INFO=1`
 - méthode 'UPWIND' et 'SIMPLEXE': des détails du calcul des champs et d'enrichissement de la SD fissure
 - méthode 'UPWIND': tableau de connexion des nœuds de la grille du calcul

4 Opérandes spécifiques aux méthodes SIMPLEXE, UPWIND et GEOMETRIQUE

4.1 Opérande MODELE

◆ MODELE = mo, [modele]

Nom du modèle sur lequel la fissure à propager est définie.

4.2 Opérande TEST MAIL

[illegible]

Le maillage utilisé pour la représentation des level sets (maillage du modèle `mo` ou de la grille auxiliaire `griaux` (voir opérande `GRILLE_AUX`)) doit être suffisamment raffiné pour bien représenter la fissure. On peut le vérifier en utilisant l'opérande `TEST_MAIL`.

Dans le cas `TEST_MAIL='OUI'`, la même vitesse de propagation est affectée à tous les points des fonds de fissures définies sur le modèle `mo`. Toutes les fissures avancent donc de la longueur donnée par l'opérande `DA_MAX`. Si le maillage est suffisamment raffiné, le fond de fissure après la propagation doit être homothétique au fond avant la propagation. Si cela n'est pas vérifié, le maillage doit être raffiné.

L'opérande calcule plusieurs propagations des fissures du modèle `mo` (voir opérandes `DA_MAX`, `ITERATIONS` et `TOLERANCE`) et pour chaque propagation il calcule la distance entre le nouveau fond après la propagation et le fond au début de la propagation (voir `FISS_ACTUELLE` dans l'opérande `FISSURE`). Si le maillage du modèle `mo` ou la grille auxiliaire `griaux` utilisés pour la représentation des level sets sont suffisamment raffinés, la distance calculée doit être égale à l'avance imposée `DA_MAX` multipliée par le numéro de l'itération courante. Une petite tolérance est utilisée pour cette vérification (voir opérande `TOLERANCE`). Si cela n'est pas vérifié, un message d'alerte est issue par `PROPA_FISS`.

La résolution du modèle fissuré et le calcul des facteurs d'intensité des contraintes ne sont pas nécessaires quand on utilise cet opérateur. La vérification est donc très rapide (voir cas test zzzz255a et zzzz255b).

4.3 Opérande ITERATIONS

```
# Si TEST_MAIL='OUI'
◇ ITERATIONS      = / iters, [I]
                   / 5, [DEFAULT]
```

Cet opérande est utilisé pour donner le nombre de itérations (propagations) calculées pendant le test du maillage (voir opérande `TEST_MAIL`). Pour chaque itération, la fissure est propagée et la distance entre le fond de fissure propagé et le fond au début de la propagation (voir `FISS_ACTUELLE` dans l'opérande `FISSURE`) est calculée et vérifiée. Il est fortement conseillée d'utiliser un nombre d'itérations égal ou supérieur à 5 car les erreurs numériques s'accumulent à chaque itération.

4.4 Opérande TOLERANCE

```
# Si TEST_MAIL='OUI'
◇ TOLERANCE = / toler, [R]
```

/ 5.0,

[DEFAULT]

Cet opérateur est utilisé pour donner la tolérance, exprimée comme pourcentage, utilisée dans le test du maillage (voir opérateur TEST_MAIL). Pour chaque itération du test (voir opérateur ITERATIONS), la distance maximale et minimale entre le fond propagé et le fond au début de la propagation (voir FISS_ACTUELLE dans l'opérateur FISSURE) sont calculées. Théoriquement ces distances sont identiques et leur valeur est égale à l'avance imposé DA_MAX multipliée par le numéro de l'itération courante. On calcule donc la différence entre les distances maximale et minimale et la distance théorique et on vérifie que les deux différences calculées sont inférieures à une valeur limite. Cette valeur limite est calculée comme pourcentage de la longueur de la plus petite arête des éléments du maillage utilisée pour la représentation des level sets (voir opérateur GRILLE_AUX). La pourcentage utilisée est donnée par l'opérateur TOLERANCE.

4.5 Opérateur ZONE_MAJ

```
◇ ZONE_MAJ = / 'TORE' [DEFAULT]
              / 'TOUT'
```

Cet opérateur permet de sélectionner la zone utilisée pour la mise à jour des level sets. On peut choisir de faire le calcul sur tous les nœuds du modèle mo ou de la grille auxiliaire gri aux (voir opérateur GRILLE_AUX) en utilisant ZONE_MAJ='TOUT' ou de limiter la zone de calcul à les nœuds du modèle mo ou de la grille auxiliaire gri aux qui sont dans un tore construit autour du fond de la fissure en utilisant ZONE_MAJ='TORE'.

Ce dernier choix permet de réduire fortement le temps de calcul même si le maillage utilisé pour la représentation des level sets n'est pas formé par un grand nombre de mailles. Dans le cas de propagation en mode mixte, l'utilisation de la restriction de la zone de mise à jour est fortement conseillée pour améliorer la performance du calcul et pour éviter la distorsion des level sets, qui peut causer une erreur fatale pendant la mise à jour.

Le calcul du rayon du tore de localisation et sa mise à jour à chaque propagation sont fait de façon automatique. Toutefois, dans le cas où la taille des éléments dans la zone de propagation n'est pas uniforme, le rayon calculé peut être trop petit et un message d'erreur est issu par l'opérateur PROPA_FISS. Dans ce cas l'utilisateur est obligé de donner explicitement une valeur du rayon (voir opérateur RAYON_TORE).

La restriction de la zone de mise à jour peut générer des problèmes de convergence de la méthode simplexe. Dans ce cas l'utilisateur doit forcément utiliser un rayon du tore de localisation plus grand par rapport à celui qui a été calculé automatiquement (écrit dans le fichier .mess) (voir opérateur RAYON_TORE) ou utiliser tout le maillage pour le calcul (ZONE_MAJ='TOUT'). Par contre la méthode upwind est très stable et performante et n'est pas affectée par ce type de problème.

4.6 Opérateur RAYON_TORE

```
# Si ZONE_MAJ='TORE'
  ◇ RAYON_TORE = raytor, [R]
```

Cet opérateur permet de donner la valeur du rayon du tore utilisé pour la restriction de la zone de mise à jour des level sets (voir opérateur ZONE_MAJ). Le rayon du tore est calculé automatiquement par l'opérateur PROPA_FISS et l'utilisateur n'est pas obligé d'utiliser cet opérateur. Toutefois la valeur calculée peut être trop petite dans certain cas, par exemple quand les tailles minimale et maximale des éléments dans la zone de propagation sont très différentes entre elles. Dans tous ces cas, l'utilisateur doit forcément donner le rayon du tore en suivant les conseils contenus dans les messages d'erreur issus par PROPA_FISS.

Il faut remarquer que la valeur du rayon ne peut pas changer beaucoup entre deux propagations successives (voir la documentation R7.02.12 pour plus de détails). Donc il est fortement conseillé d'utiliser la même valeur à chaque appel de PROPA_FISS en donnant la valeur maximale prévue. La valeur du rayon doit être toujours supérieure à une valeur minimale qui peut être

estimée en calculant l'addition des valeurs de l'avancée de la fissure (voir opérande `DA_MAX`) et du rayon de convergence (voir opérande `RAYON`). Toutefois cette valeur est liée aussi à la taille des éléments dans le tore et donc il est fortement conseillé de ne pas utiliser une valeur inférieure à celle qui a été calculée automatiquement par `PROPA_FISS`. Une erreur est issue par `PROPA_FISS` si le rayon donné n'est pas bonne par rapport à la propagation à simuler et à la taille des éléments du maillage.

4.7 Mot clé facteur FISSURE

Cet opérande obligatoire permet de indiquer les fissures du modèle `mo` qui propagent.

4.7.1 Syntaxe FISSURE

```
♦ FISSURE = _F(  
  ♦ FISS_ACTUELLE = fiss, [fiss_xfem]  
  ♦ FISS_PROPAGEE = CO('FISS'), [TXM]  
  
  # Si RAFF_MAIL = 'NON',  
    ♦ TABLE = sif, [table]  
    ◊ NB_POINT_FOND = nbptfd, [I]  
  # Fin si  
)
```

4.7.2 Opérande FISS_ACTUELLE

```
♦ FISS_ACTUELLE = fiss, [fiss_xfem]
```

On donne le nom de la fissure actuelle à propager. Cette fissure doit être déjà affectée au modèle `mo` en utilisant l'opérateur `MODI_MODELE_XFEM`.

4.7.3 Opérande FISS_PROPAGEE

```
♦ FISS_PROPAGEE = CO('FISS'), [TXM]
```

Cette opérande permet de définir le nom de la fissure propagée produit par l'opérateur `PROPA_FISS`. Le résultat produit est un concept de type `fiss_xfem` définissant la fissure propagée.

4.7.4 Opérande TABLE

```
# Si RAFF_MAIL='NON'  
◊ TABLE = sif, [table]
```

Cet opérande doit être renseigné avec le tableau des facteurs d'intensité des contraintes en fond de la fissure donné par l'opérande `FISS_ACTUELLE`. Ce tableau est issu par l'opérateur `CALC_G`. Dans le cas de fond de fissure multiple (voir R7.02.12, paragraphe «Fond de fissure multiple»), pour lequel le fond de la fissure est formé par plusieurs morceaux, l'opérateur `CALC_G` doit être appelé plusieurs fois, une fois pour chaque morceau (opérande `NUME_FOND` de `CALC_G`). On a donc plusieurs tableaux, un tableau pour chaque morceau, qui doivent être combinés dans un seul tableau qui sera donné à `PROPA_FISS` dans l'opérande `TABLE`. Pour cela, on peut utiliser l'opérateur `CALC_TABLE`. Par exemple, dans le cas où la fissure est formée par deux morceaux, la combinaison des deux tableaux peut être réalisée dans la façon suivante:

```
SIF1 = CALC_G(THETA=_F(...  
                                NUME_FOND= 1 , ),  
              ...)
```

```
SIF2 = CALC_G (THETA=_F (...  
                                NUME_FOND= 2 , ),  
                                ...)  
  
SIF = CALC_TABLE (TABLE=SIF1,  
                  ACTION=( _F (OPERATION='COMB',  
                                TABLE=SIF2,  
                                NOM_PARA=('NUME_ORDRE', 'NUME_FOND') ), ),  
                  ),  
                  );
```

et on utilise SIF pour l'opérateur PROPA_FISS . Ce tableau est formé par l'union des deux tableaux issus par CALC_G. Quelconque ordre peut être utilisé dans la combinaison des tableaux.

Rapport de charge R

Le nombre de numéro d'ordre (NUME_ORDRE) [U4.82.03] contenu dans le tableau `sif` peut être égal à 1 ou 2.

Si un seul numéro d'ordre est contenu, l'opérande associe les valeurs des facteurs d'intensité des contraintes à la condition du chargement maximal du cycle de fatigue et il assume que la condition de chargement minimal coïncide avec tous les chargements nuls. Il assume donc un rapport de charge R égal à zéro.

Par contre, si deux numéros d'ordre sont contenus dans chaque tableau, l'opérande assume que les deux conditions de chargement maximal et minimal du cycle de fatigue sont données. L'ordre des valeurs dans le tableau n'est pas important, c'est-à-dire qu'on peut donner comme premier numéro d'ordre la condition de chargement maximal et comme deuxième la condition de chargement minimal ou l'inverse. Les deux sont possibles.

| Si le comportement du modèle est linéaire, on peut utiliser l'opérande COMP_LINE.

4.7.5 Opérande NB_POINT_FOND

```
# Si TEST_MAIL='NON'  
◇ NB_POINT_FOND = nbptfd, [I]
```

Si l'opérande NB_POINT_FOND a été utilisé dans CALC_G pour le calcul des facteurs d'intensité des contraintes, on doit forcément utiliser cet opérande dans PROPA_FISS aussi.

L'opérateur PROPA_FISS ne peut pas vérifier si cet opérande a été utilisé ou pas dans CALC_G ou si les valeurs données sont correctes. L'utilisateur doit donc faire attention à utiliser correctement cet opérande!

L'opérande NB_POINT_FOND accepte une liste de valeurs d'entiers. Pour chaque morceau (voir opérande TABLE) de la fissure donné par FISS_ACTUELLE on doit donner une valeur de NB_POINT_FOND égale à la valeur utilisée dans CALC_G . Si l'opérande n'a pas été utilisée dans CALC_G pour un morceau, on utilise la valeur zéro. L'ordre des valeurs de NB_POINT_FOND dans la liste est donné par l'opérande NUME_FOND de CALC_G . Des exemples sont donnés à la fin de ce document.

4.8 Opérande RAYON

```
◇ RAYON = ray, [R]
```

Cet opérande est utilisé pour définir le rayon du tore autour du fond de fissure dans lequel les résidus vont être estimés pour les étapes de réinitialisation et réorthogonalisation des level sets. Ce tore définit la zone où les level sets doivent être suffisamment proches de fonctions de distances signées.

La valeur de ce rayon doit être toujours supérieure au rayon supérieur d'intégration de l'opérateur CALC_G . L'opérateur PROPA_FISS ne peut pas vérifier si cette condition est respectée! L'utilisateur doit donc faire attention à utiliser correctement cet opérande!

5 Opérandes spécifiques à la méthode MAILLAGE

5.1 Opérandes MAIL_STRUC

♦ MAIL_STRUC = mast, [maillage]

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

5.2 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.

5.3 Opérande MAIL_TOTAL

♦ MA_TOT2 = CO('matot2'), [TXM]

Cette opérande permet de définir le nom du maillage total, i.e. la concaténation du maillage de la structure saine (cf. opérande MAIL_STRUC) et du maillage de la fissure propagée MAIL_PROPAGE.

C'est ce maillage total *matot2* qui doit être utilisé pour définir le modèle et la nouvelle fissure dans DEFI_FISS_XFEM.

5.4 Mot clé facteur FISSURE

Cet opérande obligatoire permet de indiquer les fissures du modèle *mo* qui propagent.

5.4.1 Syntaxe FISSURE

```
♦ FISSURE = _F(
  ♦ MAIL_ACTUEL = max1 [ maillage ]
  ♦ FISS_ACTUELLE = FISS1 [ fiss_xfem ]
  ◇ MAIL_PROPAGE = CO('max2'), [TXM]
  ◇ GROUP_MA_FOND = / 'FOND' [DEFAULT]
  / grmaff [TXM]
  ◇ GROUP_MA_FISS = / 'FISS' [DEFAULT]
  / grmafi, [TXM]
  ♦ TABLE = sif, [table]
  ◇ DTAN_ORIG = (xo,yo,zo), [l_R]
  ◇ DTAN_EXTR = (xe,ye,ze), [l_R]
```

5.4.2 Opérande MAIL_ACTUEL

♦ MAIL_ACTUEL = max1, [maillage]

Cet opérande permet de définir la fissure que l'on veut propager à l'aide de son maillage surfacique *max1*. Le maillage de la fissure *max1* doit respecter certaines règles de nommage, cf. §4.

5.4.3 Opérandes FISS_ACTUELLE, TABLE

Voir les §4.7.2 et §4.7.4.

5.4.4 Opérande MAIL_PROPAGE

```
◇ GROUP_MA_FOND = / 'FOND' [DEFAULT]
                  / grmaff [TXM]
◇ GROUP_MA_FISS = / 'FISS' [DEFAULT]
                  / grmafi, [TXM]
```

Ces opérandes permettent d'indiquer comment vont s'appeler les groupes de mailles du fond et des lèvres (qui seront successivement FOND_0, FOND_1, etc). Ces mots clés sont indispensables pour pouvoir utiliser un maillage quelconque pour la fissure initiale ; et pour pouvoir traiter le cas de la multi-fissuration. Une valeur par défaut existe.

5.4.5 Opérandes GROUP_MA_FOND et GROUPE_MA_FISS

```
◇ MAIL_PROPAGE = CO('max2'), [TXM]
```

Cette opérande permet de définir le nom du maillage surfacique correspondant à la fissure propagée.

5.4.6 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.

6 Opérandes spécifiques à la méthode INITIALISATION

6.1 Opérandes MAIL_STRUC

♦ MAIL_STRUC = mast, [maillage]

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

6.2 Opérandes FORM_FISS

♦ FORM_FISS = / 'DEMI_DROITE'
/ 'DEMI_PLAN'
/ 'ELLIPSE'

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

6.3 Cas DEMI_DROITE : opérandes PFON et DTAN_DTAN

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

Ces opérandes 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 : opérandes 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 opérandes 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 Cas ELLIPSE : opérandes CENTRE, DEMI_GRAND_AXE, DEMI_PETIT_AXE, VECT_X, VECT_Y, ANGLE_ORIG, ANGLE_EXTR et NB_POINT_FOND

♦ CENTRE = (xo, yo, zo), [1_R]
♦ DEMI_GRAND_AXE = a, [R]
♦ DEMI_PETIT_AXE = b, [R]
♦ VECT_X = (vxx, vxy, vxz), [1_R]
♦ VECT_Y = (vyx, vyy, vyz), [1_R]

Ces opérandes permettent de définir la fissure elliptique initiale en 3D en donnant les coordonnées du centre de l'ellipse, les valeurs des demi-petit axe et demi-grand axe, des vecteurs d'orientation du plan de l'ellipse. Pour plus de détails concernant ces mot-clés, voir U4.82.08.

♦ ANGLE_ORIG = ango, [R]
♦ ANGLE_EXTR = ange, [R]
♦ NB_POINT_FOND = nbpf, [I]

ANGLE_ORIG donne la position (en degrés) du premier point dans le repère (VECT_X , VECT_Y).

ANGLE_EXTR donne la position (en degrés) du dernier point dans le repère (VECT_X , VECT_Y).

NB_POINT_FOND désigne le nombre de point à créer le long du fond de fissure.

6.6 Opérandes GROUP_MA_FOND , GROUP_MA_FISS

Voir § 5.4.5

6.7 Opérandes MAIL_TOTAL

Voir § 5.3

6.8 Opérandes MAIL_FISS

Idem que MAIL_PROPAGE , voir § 5.4.4

7 Exemples de propagation de fissure avec X-FEM

Plusieurs 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 ;
- sslv316 : fissuration à propagation imposée avec x-fem ;
- sslp318 : propagation d'une fissure x-fem non débouchante sollicitée en mode ;
- sslp319 : propagation de deux fissures x-fem débouchantes sollicitée en mode ;
- ssnv185 : propagation de fissure débouchante dans une plaque 3D ;
- zzzz255 : validation de l'option TEST_MAIL dans PROPA_FISS ;