SSLV316 – Fissuration à propagation imposée avec X-FEM

Résumé :

Le but de ce test est de vérifier que les méthodes simplexe, upwind et géométrique de l'opérateur PROPA_FISS calculent correctement la position du fond d'une fissure 3D qui propage en mode mixte.

On simule plusieurs propagations d'une fissure en imposant une avancée et une direction de propagation données. La position de la fissure après chaque propagation est donc connue et on peut vérifier si la position du fond calculée par l'opérateur PROPA_FISS est correcte.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

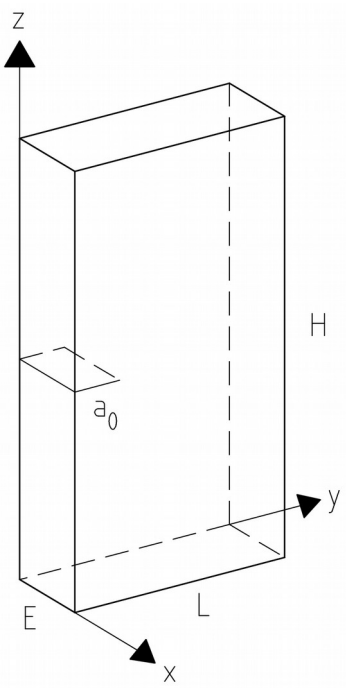


Figure 1.1-a: géométrie de la plaque fissurée

Dimensions géométriques de la plaque fissurée:

largeur	$L=8\text{m}$
épaisseur	$E=1\text{m}$
hauteur	$H=18\text{m}$

Longueur initiale de la fissure plane: $a_0=2\text{m}$
La fissure est positionnée au milieu de la hauteur de la plaque ($H/2$).

1.2 Propriétés du matériau

Module de Young $E=205\,000\,MPa$
Coefficient de Poisson $\nu=0.3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

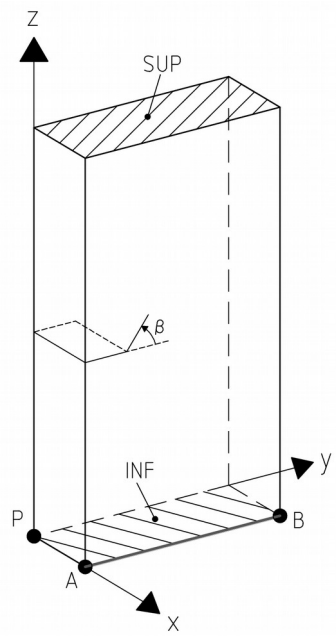


Figure 1.3-a: conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites:

Point P : $\Delta X=\Delta Y=\Delta Z=0$

Points sur le segment AB : $\Delta X=\Delta Z=0$

Points sur la surface INF : $\Delta Z=0$

Chargement:

Pression sur la surface SUP : $P=-1\,MPa$

Le chargement est constant pendant la propagation. Trois appels à l'opérateur PROPA_FISS sont faits pour simuler une propagation de la fissure initiale déjà présente dans la structure. À chaque appel l'avance et la direction de propagation de **chaque point** du fond de fissure sont imposés:

Avance du point du fond: $\Delta a=0.4\,m$

Angle de propagation: $\beta=30°$

La direction positive de l'angle β est visible sur la Figure 1.3-a.
Le fond de la fissure reste **toujours droit** pendant toute la propagation. La motivation de ce choix sera expliquée dans le paragraphe 4.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

On veut vérifier que la position du fond après la propagation, calculée par l'opérateur PROPA_FISS, est correcte. On doit donc calculer la position théorique déterminée par l'avance et la direction de propagation imposées.
Comme déjà remarqué, le fond de fissure reste droit pendant toute la propagation. Le fond est toujours perpendiculaire aux deux surfaces de la plaque parallèles au plan YZ, comme illustré Figure 1.3-a. La position du fond peut donc être indiquée en utilisant seulement les coordonnées Y et Z.
La position initiale est la suivante :

$y_0=a_0=2.0$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

$z_0 = 9.0$

Après la propagation i , la nouvelle position du fond peut être calculée comme ceci:

$$y_i = y_{i-1} + \Delta a \cdot \cos(i \cdot \beta)$$
$$z_i = z_{i-1} + \Delta a \cdot \sin(i \cdot \beta)$$

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Pour les trois propagations calculées dans les tests, la position du fond est la suivante:

Propagation	Coord y_i	Coord z_i
1	2.34641	9.19999
2	2.54642	9.54640
3	2.54644	9.94640

Tableau 2.1

Dans la version actuelle de Code Aster, les coordonnées des points du fond de fissure ne sont disponibles que dans le fichier .mess et donc on ne peut pas les vérifier directement dans le fichier de commandes.

Toutefois, pour ce cas test, on connaît la position théorique et la forme (un segment) du fond de la fissure. En fait le fond est toujours coïncident avec l'arête qui relie les deux points $(0, y_i, z_i)$ et $(1, y_i, z_i)$. En utilisant MACR_LIGN_COUPE, on peut relever les valeurs des level sets aux points d'intersection entre cette arête et les faces des éléments du maillage. Si la position du fond après la propagation est calculée correctement par PROPA_FISS, la valeur des deux level sets doit être égale à zéro pour tous les points d'intersection trouvés parce que, par définition, le fond de fissure est formé par tous les points où la level set tangente et normale sont égales à zéro.

Cela explique pourquoi on a décidé de donner la même avance et direction de propagation à tous les points du fond de fissure. Même si le fond de fissure est localisé par deux seules coordonnées, la propagation est 3D et les algorithmes implémentés dans PROPA_FISS calculent une propagation en 3D.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode **upwind** est utilisée par PROPA_FISS pour résoudre les équations de propagation de la fissure.
Aucune grille auxiliaire n'est utilisée. Cela est possible parce que le maillage de la structure est très régulier. Le domaine de calcul est **localisé** autour du fond de la fissure.

3.2 Caractéristiques du maillage

La structure est modélisée par un maillage composé de 6720 éléments HEXA8 (voir Figure 3.2-a).

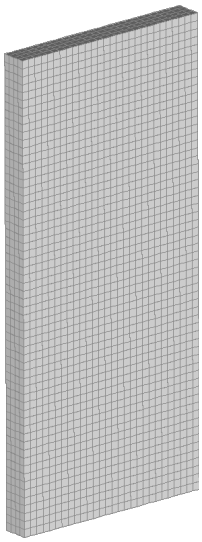


Figure 3.2-a: maillage de la structure

Le maillage n'est pas très raffiné pour réduire le temps de calcul. La taille des éléments est uniforme et égale à $0.29 x 0.33 x 0.25 m$.

3.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	Max LSN_i	Min LSN_i	Max LST_i	Min LST_i
1	-2.64E-16	-8.40E-16	9,71E-16	-4,16E-17
2	-3.30E-04	-3.30E-04	-2.23E-06	-2.25E-06
3	-3.44E-03	-3.53E-03	-2.20E-04	-2.22E-04

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation :

Tolérance utilisée = $0.15 \times 0.33 = 0.05\ m$

3.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode upwind est correcte et que la localisation du domaine marche bien pour la méthode upwind sans grille auxiliaire.

Il faut remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avance totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode upwind a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode **upwind** est utilisée par PROPA_FISS pour résoudre les équations de propagation de la fissure. **Une grille auxiliaire** est utilisée.
Le même modèle que celui décrit pour la modélisation A est utilisé. Le domaine de calcul est **localisé** autour du fond de la fissure.

4.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A.
La grille auxiliaire utilisée est constituée de 1296 éléments HEXA8 réguliers de dimension $0.25\times0.25\times0.25m$ (voir Figure 4.2-a).

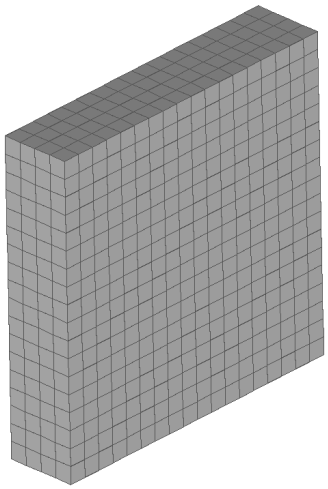


Figure 4.2-a: maillage utilisé pour définir la grille auxiliaire

La grille est étendue à la seule zone de la structure intéressée par la propagation de la fissure.

4.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant l'opérateur MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	9.02E-17	-2.77E-16	-3.88E-16	-5.7E-16
2	-1.94E-03	-2.08E-03	-2.09E-06	-2.11E-06
3	9.19E-04	-4.52E-05	-1.23E-03	-1.17E-03

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation:

Tolérance utilisée = $0.15 \times 0.33 = 0.05\ m$

4.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode upwind+grille auxiliaire est correcte et que la localisation du domaine marche bien pour la méthode upwind+grille auxiliaire.

Il faut enfin remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avance totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode upwind+grille auxiliaire a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode **simplexe** est utilisée par PROPA_FISS pour résoudre les équations de propagation de la fissure. **Aucune grille auxiliaire** n'est utilisée. Le domaine de calcul est **localisé** autour du fond de la fissure.
Le même modèle que celui décrit pour la modélisation A est utilisé.

5.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A.

5.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	-4,43E-15	-4,65E-15	3,01E-15	2,76E-15
2	-0.0007	-0.0007	2.0122E-16	-1.311E-15
3	0.00036	0.00036	-0.00041	-0.00041

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet, la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation:

Tolérance utilisée = $0.15\times 0.33=0.05\,m$

5.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode simplexe est correcte et que la localisation du domaine marche bien pour la méthode simplexe.

Il faut enfin remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avance totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode simplexe a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Cette modélisation est identique à la modélisation A sauf pour le domaine de calcul qui **n'est pas localisé** autour du fond de la fissure. La mise à jour des level sets est donc faite sous tout le modèle.

6.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A.

6.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	-2.63E-16	-8.39E-16	-4.163E-17	-4.996E-16
2	-0.00033	-0.00033	-2.2346E-06	-2.249E-06
3	-0.00347	-0.00356	-0.00022	-0.00022

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation :

Tolérance utilisée = $0.15 \times 0.33 = 0.05\, m$

6.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode upwind est correcte.

Il faut remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avance totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode upwind a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Cette modélisation est identique à la modélisation B sauf pour le domaine de calcul qui **n'est pas localisé** autour du fond de la fissure. La mise à jour des level sets est donc faite sous tout le modèle.

7.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A et la même grille auxiliaire que celle de la modélisation B.

7.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	9.0205E-17	-2.7755E-16	-3.885E-16	-5.689E-16
2	-0.0019	-0.002	-2.064E-06	-2.1013E-06
3	0.00091	-4.822E-05	-0.0011	-0.0012

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation:

Tolérance utilisée = $0.15 \times 0.33 = 0.05\, m$

7.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode upwind+grille auxiliaire est correcte.

Il faut enfin remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avance totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode upwind+grille auxiliaire a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Cette modélisation est identique à la modélisation C sauf pour le domaine de calcul qui **n'est pas localisé** autour du fond de la fissure. La mise à jour des level sets est donc faite sous tout le modèle.

8.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation C.

8.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	-4.430E-15	-4.654E-15	3.010E-15	2.7616E-15
2	-0.00067	-0.00067	2.0122E-16	-1.3114E-15
3	0.00046	0.00046	-0.00041	-0.00041

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet, la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation:

Tolérance utilisée = $0.15\times 0.33=0.05\ m$

8.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode simplexe est correcte.

Il faut enfin remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avance totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode simplexe a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode **géométrique** est utilisée par PROPA_FISS pour le calcul de la nouvelle position de la fissure. Le domaine de calcul est **localisé** autour du fond de la fissure. **Aucune grille auxiliaire** n'est utilisée.

9.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A.

9.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	5.55E-16	2.22E-16	-1.94E-16	-3.747E-16
2	-0.0123	-0.0123	-1.97E-4	-1.97E-4
3	-0.027	-0.027	-6.72E-3	-6.72E-3

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet, la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation :

Tolérance utilisée = $0.15\times 0.33=0.05\,m$

9.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode géométrique est correcte.

Il faut enfin remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avancée totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode géométrique a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

10 Modélisation L

10.1 Caractéristiques de la modélisation

Cette modélisation est destinée à valider la propagation de la surface de fissuration potentielle pour un calcul de *propagation avec éléments cohésifs*.

La méthode **géométrique** est utilisée par PROPA_FISS pour le calcul de la nouvelle position de la fissure, avec l'opération PROPA_COHESIF. Le domaine de calcul n'est pas **localisé** et **aucune grille auxiliaire** n'est utilisée.

Trois appels à l'opérateur PROPA_FISS sont faits pour simuler une propagation de fissure *par des éléments cohésifs*, à partir de la fissure initiale déjà présente dans la structure. À chaque appel l'avance et la direction de propagation de **chaque point** du fond de fissure sont imposés:

Avance du point du fond: $\Delta a = 2\,m$
Angle de propagation: $\beta = 30°$ pour les deux premiers appels à PROPA_FISS, $\beta = 70°$ pour le dernier

10.2 Caractéristiques du maillage

On utilise un maillage structuré pour lequel la fissure initiale est maillée. La structure est modélisée par un maillage composé de 8120 éléments HEXA8.

10.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre la ligne qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	-4.87110352E-14	-1.0999534E-13	9.31824062E-14	-6.34770014E-14
2	-4.87110352E-14	-1.0999534E-13	9.31824062E-14	-6.34770014E-14
3	8.07479083E-14	-1.80688797E-14	-2.95111157E-14	-4.96512553E-14

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet, la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation :

Tolérance utilisée = $0.15 \times 0.25 = 0.0375\,m$

10.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode géométrique est correcte. Les remarques sont donc les mêmes que pour la modélisation I.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

11 Modélisation M

11.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode **géométrique** avec la rotation de déversement activée est utilisée par PROPA_FISS pour le calcul de la nouvelle position de la fissure. L'angle de déversement gamma est forcé à zéro. Le domaine de calcul est **localisé** autour du fond de la fissure. **Aucune grille auxiliaire** n'est utilisée.

11.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que celui de la modélisation A.

11.3 Grandeurs testées et résultats

On calcule les points d'intersection entre l'arête qui donne la position théorique du fond et les faces des éléments du maillage en utilisant MACR_LIGN_COUPE (voir Tableau 2.1). Pour chacun de ces points, on calcule la valeur de la level set normale (LSN) et tangente (LST) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale sont presque nulles:

Propag. i	**Max** LSN_i	**Min** LSN_i	**Max** LST_i	**Min** LST_i
1	5.55E-16	2.22E-16	-1.94E-16	-3.747E-16
2	-0.0123	-0.0123	-1.97E-4	-1.97E-4
3	-0.027	-0.027	-6.72E-3	-6.72E-3

Les valeurs obtenues sont calculées à partir des valeurs aux nœuds du maillage en utilisant les fonctions de forme des éléments. On s'attend donc à ce que ces valeurs soient affectées par une erreur qui dépend de la taille des éléments du maillage. En effet, la précision de représentation des level set est elle même liée à la taille des éléments. En conséquence on utilise une tolérance pour vérifier si les level sets calculées sont presque nulles. En considérant que le maillage est grossier, on affecte une tolérance égale à 15% de la longueur de la plus grande arête du maillage dans la zone de propagation :

Tolérance utilisée = $0.15\times 0.33=0.05\,m$

11.4 Remarques

Toutes les valeurs testées respectent la tolérance utilisée. Cela signifie que la position du fond de fissure calculée par la méthode géométrique est correcte.

Il faut enfin remarquer qu'après les trois propagations simulées, la fissure a dévié de 90°. Par contre l'avancée totale est petite. Donc une propagation en mode mixte très sévère a été simulée. Les conditions utilisées sont plus sévères que les conditions qu'on trouve normalement pour des structures réelles. Cependant la méthode géométrique a bien calculé la position de la fissure et on a donc vérifié sa robustesse.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

12 Synthèse des résultats

Toutes les méthodes utilisées (upwind, upwind+grille auxiliaire, simplexe et géométrique) ont permis de bien calculer la position d'une fissure propageant en mode mixte en conditions sévères. Cela a aussi permis de valider l'implémentation de ces méthodes dans l'opérateur PROPA_FISS et notamment la possibilité de localiser la zone de mise à jour des level-sets.

Si on considère que le maillage utilisé dans les cas test est grossier, on peut dire que les méthodes calculent de manière suffisamment précise la position du fond de fissure.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)