ZZZZ255 - Validation de l'option TEST_MAIL dans PROPA_FISS

Résumé :

Ce test valide le mot-clé TEST_MAIL de l'opérateur PROPA_FISS. Ce mot-clé permet de vérifier si le maillage et/ou la grille auxiliaire utilisés pour la représentation des level sets d'une fissure X-FEM sont suffisamment raffinés.
Il s'agit de plusieurs propagations en mode I d'une fissure de forme circulaire. Si le mot-clé TEST_MAIL est utilisé, l'opérateur PROPA_FISS impose la même avancée à tous les points qui forment le fond de la fissure. Par conséquent, la forme du fond ne change pas pendant la propagation mais sa dimension (le rayon du cercle) augmente d'une quantité égale à l'avancée imposée. Après chaque propagation, l'opérateur vérifie si la forme du nouveau fond est changée et si son rayon est égal à la valeur attendue. C'est seulement lorsque le maillage est suffisamment raffiné que les deux propriétés sont vérifiées.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

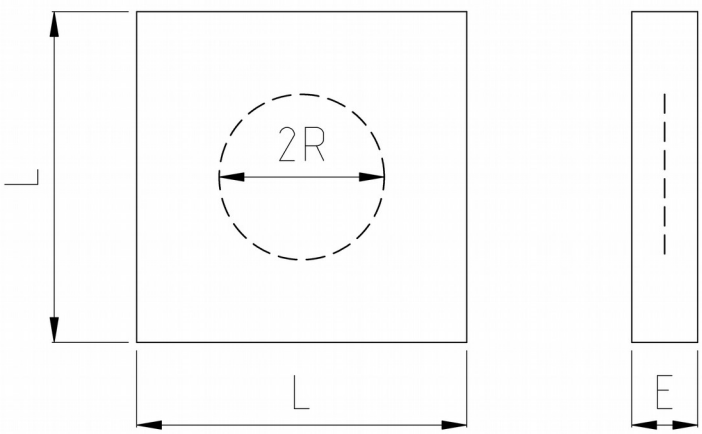


Figure 1.1-a: géométrie de la plaque fissurée

Dimensions géométriques de la plaque fissurée:

largeur $L=1000\,mm$
épaisseur $E=100\,mm$

Rayon initial de la fissure circulaire: $R=250\,mm$.
La fissure est positionnée au milieu de l'épaisseur de la plaque ($E/2$).

1.2 Propriétés du matériau

Aucun matériau n'est utilisé.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Aucune condition aux limites ni aucun chargement n'est appliqué. En effet, le mot clé TEST_MAIL permet de simuler une propagation en imposant la même avancée, donnée par l'utilisateur, à tous les points du fond de la fissure et la résolution du modèle n'est pas nécessaire (voir documentation [U4.82.11]).
L'avancée imposée est égale à $25\,mm$.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Trois propagations de la fissure sont calculées. À chaque propagation la fissure avance de $\Delta a=25\,mm$. La distance entre le nouveau fond de fissure et la fissure initiale peut donc être calculée: $d_i=i\cdot\Delta a$. Si on calcule la distance entre chaque point du nouveau fond et le fond de la fissure initiale, on retrouve toujours la valeur d_i calculée.

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

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Pour les trois propagations calculées dans les tests, la distance entre le nouveau fond de fissure et la fissure initiale est la suivante:

Propagation i	d_i **[** mm **]**
1	25.0
2	50.0
3	75.0

Tableau 2.1

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.

3.2 Caractéristiques du maillage

La structure est modélisée par un maillage composé de 6400 éléments HEXA8 (voir Figure 3.2-a).

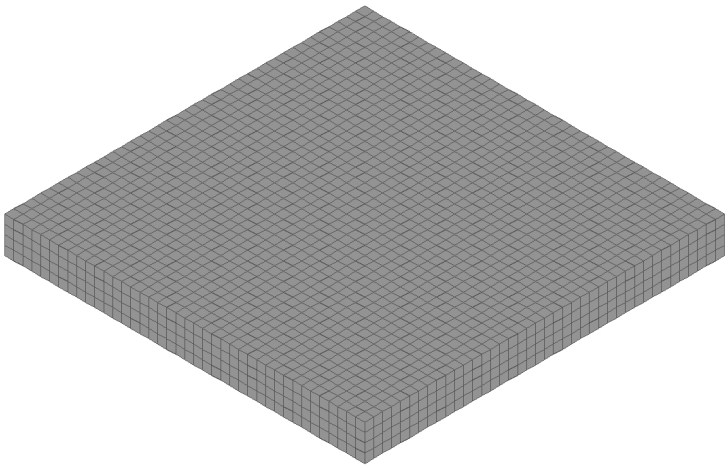


Figure 3.2-a: maillage de la structure

Le maillage est très régulier et la dimension des éléments est égale à $25 \times 25 \times 25\, mm$.

3.3 Fonctionnalités testées

L'opérateur PROPA_FISS calcule la distance minimale et maximale entre le nouveau fond de fissure après la propagation et le fond au début de la propagation. Théoriquement les valeurs des deux distances calculées sont égales entre elles. Par contre, la représentation des level sets par une grille, ou un maillage, introduit des approximations et donc les valeurs calculées ne sont pas égales entre elles, ni à la valeur attendue de référence (Tableau 2.1). Par conséquent, une tolérance est utilisée. Elle est appliquée à l'erreur relative entre la distance calculée et la distance de référence. Cette erreur est calculée comme ceci:

$$erreur = \frac{d_{calculée} - d_{référence}}{l_{min}}$$

où $d_{calculé}$ est la distance maximale d_{max} ou minimale d_{min} calculée par PROPA_FISS après la propagation, $d_{référence}$ est la distance de référence attendue (Tableau 2.1) et l_{min} est la longueur de la plus petite arête du maillage ou de la grille utilisée pour la représentation des level sets ($25\, mm$ dans ce cas-test).
On a choisi de calculer l'erreur relative par rapport à l_{min} parce qu'on s'attend à ce que la précision de la représentation des level sets soit liée à cette grandeur. Théoriquement l'erreur doit être égale à zéro et le nouveau fond de fissure après la propagation doit être homothétique au fond au début de la propagation. De très petites différences sont toutefois tolérées. En raison de ces différences, la forme du fond de fissure après la propagation n'est pas régulière et on peut obtenir des oscillations, qui

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

doivent être limitées pour avoir une bonne représentation du fond. On a décidé donc d'utiliser une valeur limite calculée comme pourcentage de la longueur l_{min}, qui exprime la précision avec laquelle le maillage ou la grille utilisés peuvent représenter les level sets. On remarque que la valeur limite utilisée est indépendante de la valeur $d_{référence}$. Cela permet d'identifier les oscillations de la forme du fond même si la valeur de référence $d_{référence}$ est grande. L'utilisation d'une erreur relative calculée par rapport à $d_{référence}$ ne permet pas de gérer correctement la vérification de la forme du fond parce que l'oscillation tolérée $(d_{calculée} - d_{référence})$ augmente avec le nombre de la propagation considéré (voir les valeurs de d_i dans le Tableau 2.1).

Sous le mot-clé TEST_MAIL de l'opérateur PROPA_FISS, une erreur relative maximale de 5% est acceptée.

Propagation	d_i **référence** [mm]	d_{min} [mm]	**Erreur relative [%]**	d_{max} [mm]	**Erreur relative [%]**
1	25.0	24.78	-1.3	25.0167	0.1
2	50.0	49.55	-2.7	50	0
3	75.0	74.34	-3,9	74,99	0

On peut représenter le fond de la fissure initiale et le fond obtenu après chaque propagation:

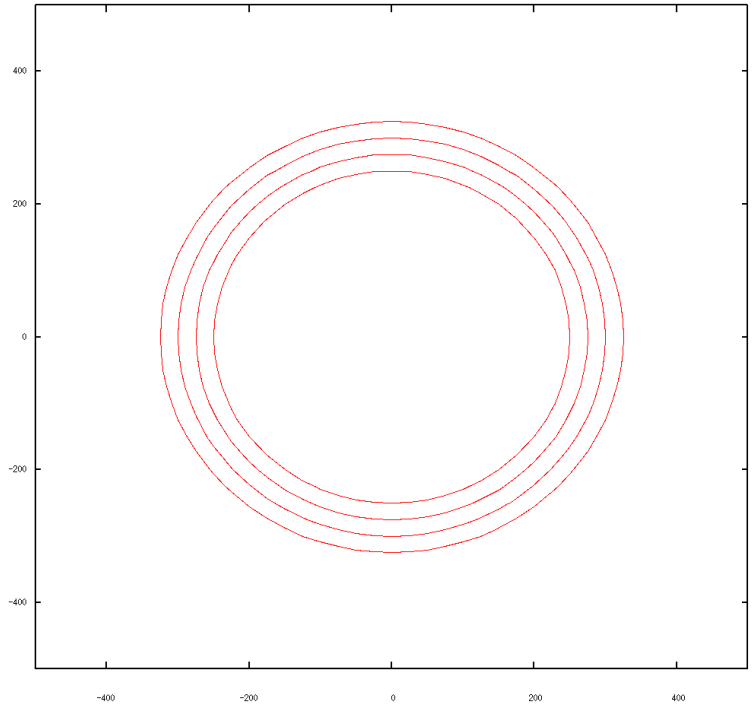


Figure 3.3-a: fond de la fissure initiale et fond après chaque propagation

On voit immédiatement que les trois fonds propagés sont homothétiques au fond initial et que la distance entre deux fonds consécutifs est la même. Cela permet de vérifier immédiatement que le maillage utilisé pour la représentation des level sets est suffisamment raffiné parce qu'il permet de bien représenter le fond de la fissure.
Si on regarde les valeurs testées, on voit que toutes sont dans la tolérance utilisée. L'utilisation du mot-clé TEST_MAIL permet donc de conclure que le maillage utilisé pour la représentation des level sets est suffisamment raffiné. Cela montre que le mot clé TEST_MAIL fonctionne correctement.

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

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

3.4 Grandeurs testées et résultats

Ce cas-test est une validation informatique du mot-clé TEST_MAIL. La non-satisfaction des conditions intrinsèques à ce mot-clé renvoie simplement une alarme à l'utilisateur.
Afin d'alimenter un fichier résultat, on propose d'ajouter à ce cas-test, un TEST_RESU réalisant une opération analogue à TEST_MAIL. Elle consiste à calculer, au dernier pas de propagation, la distance entre chacun des coins de la plaque et le front de fissure. On relève donc la valeur de la level-set tangentielle de chacun de ces noeuds et l'on vérifie que la valeur minimale et maximale des valeurs trouvées sont bien égales à la valeur théorique à 5% près.

Propagation	d_i **référence** **[** mm **]**	**Tolérance [%]**
3	$500\sqrt{2}-(R+3\times 25)$	5

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

4 Modélisation B

4.1 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.

4.2 Caractéristiques du maillage

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

4.3 Fonctionnalités testées

Sous le mot-clé TEST_MAIL de l'opérateur PROPA_FISS, une erreur relative maximale de 5% est acceptée.

Propagation	d_i référence [mm]	d_{min} [mm]	Erreur relative [%]	d_{max} [mm]	Erreur relative [%]
1	25.0	24.88	-0,7	25	0
2	50.0	49.71	-1,7	50	0
3	75.0	74.61	-2,3	75	0

On peut représenter le fond de la fissure initiale et le fond obtenu après chaque propagation:

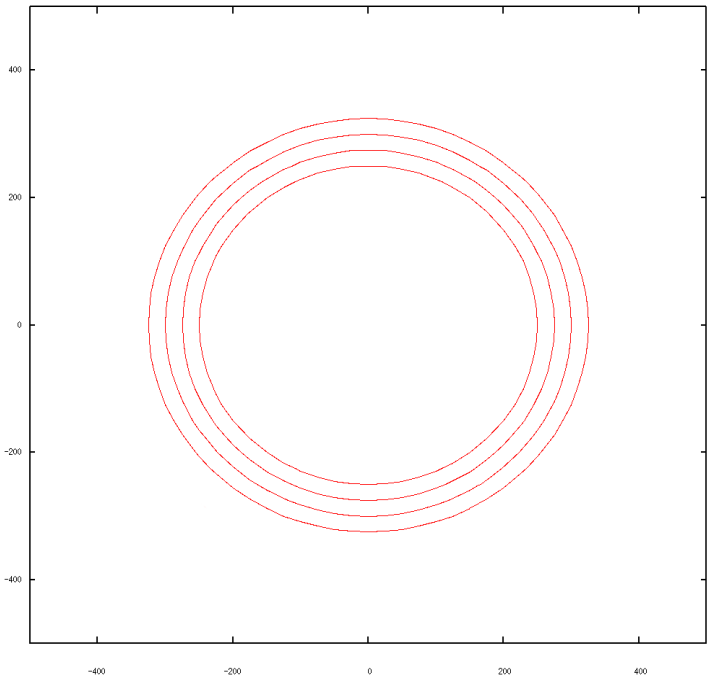


Figure 4.3-a: fond de la fissure initiale et fond après chaque propagation

On voit immédiatement que les trois fonds propagés sont homothétiques au fond initial et que la distance entre deux fonds consécutifs est la même. Cela permet de vérifier que le maillage utilisé pour la représentation des level sets est suffisamment raffiné parce qu'il permet de bien représenter le fond de la fissure.

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

Si on regarde les valeurs testées, on voit que toutes sont dans la tolérance utilisée. L'utilisation du mot-clé TEST_MAIL permet de conclure que le maillage utilisé pour la représentation des level sets est suffisamment raffiné. Cela montre que le mot clé TEST_MAIL fonctionne correctement.

4.4 Grandeurs testées et résultats

Ce cas-test est une validation informatique du mot-clé TEST_MAIL. La non-satisfaction des conditions intrinsèques à ce mot-clé renvoie simplement une alarme à l'utilisateur.
Afin d'alimenter un fichier résultat, on propose d'ajouter à ce cas-test, un TEST_RESU réalisant une opération analogue à TEST_MAIL. Elle consiste à calculer, au dernier pas de propagation, la distance entre chacun des coins de la plaque et le front de fissure. On relève donc la valeur de la level-set tangentielle de chacun de ces nœuds et l'on vérifie que les valeurs minimale et maximale des valeurs trouvées sont bien égales à la valeur théorique à 5% près.

Propagation	d_i **référence** **[** mm **]**	**Tolérance [%]**
3	$500\sqrt{2}-(R+3\times 25)$	5

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode MAILLAGE est utilisée par PROPA_FISS.

5.2 Caractéristiques du maillage

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

5.3 Fonctionnalités testées

TEST_MAIL est sans intérêt pour cette méthode de propagation. L'utilisation de ce mot-clé n'est donc pas autorisée.
On décide néanmoins d'utiliser ce cas-test afin de vérifier la bonne initialisation et propagation de fissure circulaire avec cette méthode de propagation.

5.4 Grandeurs testées et résultats

On relève la valeur de la level-set tangentielle de chacun des coins de la plaque et l'on vérifie que les valeurs minimale et maximale des valeurs trouvées sont bien égales à la valeur théorique de la distance au front de fissure à 5% près.

Propagation	d_i référence [mm]	Tolérance [%]
3	$500\sqrt{2}-(R+3\times 25)$	5

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

6 Synthèse des résultats

On a testé un maillage en utilisant le mot clé TEST_MAIL et deux méthodes différentes (UPWIND', 'SIMPLEXE') pour résoudre les équations de propagation. Dans les deux cas, on a obtenu une réponse positive, c'est-à-dire que le maillage est suffisamment raffiné pour bien représenter la fissure circulaire définie sur le maillage.
En représentant le fond de la fissure initiale et les fonds obtenus après chaque propagation, on a vérifié que les fonds calculés sont corrects.
On peut conclure donc que le mot clé TEST_MAIL permet de faire une vérification du maillage de façon automatique et très rapide.
Par ailleurs, les distances calculées au front de fissure sont cohérentes avec les valeurs théoriques quelle que soit la méthode de propagation de PROPA_FISS ('UPWIND', 'SIMPLEXE' ou 'MAILLAGE')

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