# SSLV315 – Propagation non plane d'une fissure débouchante avec X-FEM

**Résumé :**

Le but de ce test est de comparer les méthodes de propagation SIMPLEXE, MAILLAGE, UPWIND et GEOMETRIQUE de l'opérateur PROPA_FISS pour une fissure 3D sollicitée en mode mixte.



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

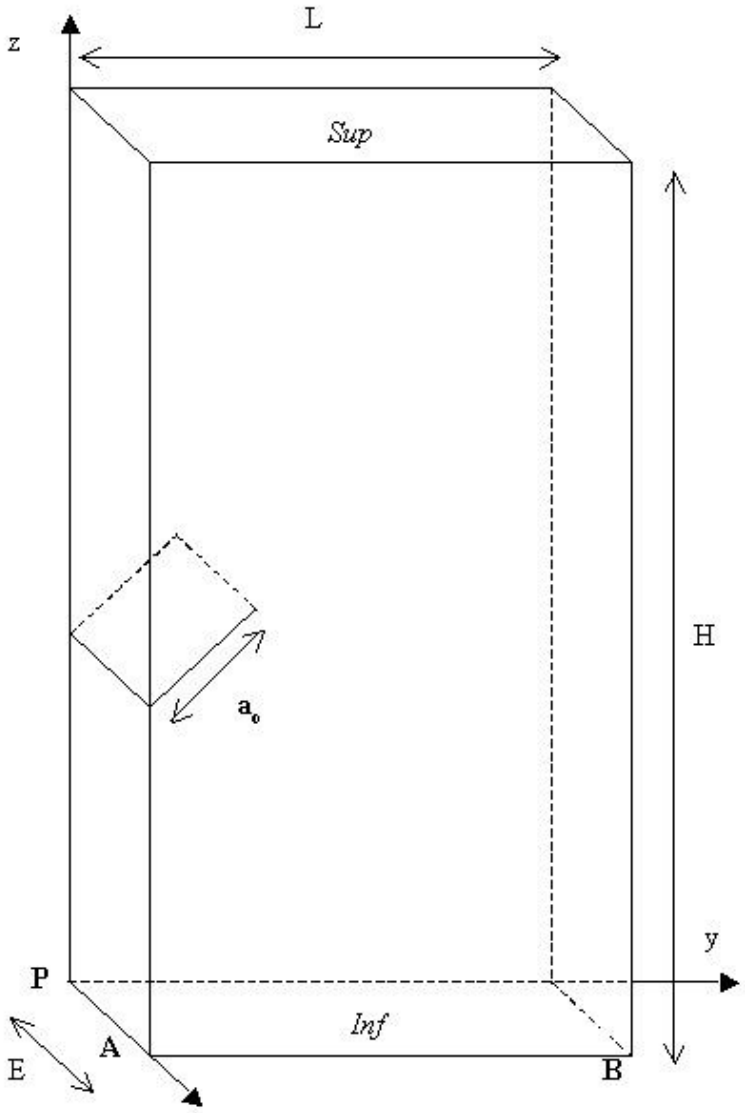



**Figure 1.1-a: géométrie de la plaque fissurée**

Dimensions géométriques de la plaque fissurée:

| | |
|---|---|
| largeur | $L=8\,m$ |
| épaisseur | $E=1\,m$ |
| hauteur | $H=18\,m$ |

La fissure est initialement orientée à $45\,°$, le front étant initialement positionné en $(x,2,9)$.



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

## 1.2 Propriétés du matériau

Module de Young $E=205000\,MPa$
Coefficient de Poisson $\nu=0.3$

Pour le cas des modélisations avec éléments cohésifs, les paramètres matériau sont :
Contrainte critique $\sigma_c=2\,MPa$
Ténacité énergétique $G_c=17.75\,N.m^{-1}$

## 1.3 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 $\mathrm{INF}$ : $\Delta Z=0$

Chargement:
Pression sur la surface $\mathrm{SUP}$ : $P=-1\,MPa$

# 2 Solution de référence

Les résultats de la modélisation B (méthode Maillage) sont pris comme référence.
Pour les modélisations B, C, G et H, on vérifie la non régression du code par rapport à la position du fond de fissure.
Pour les modélisations A, D, E, F, I et J, on vérifie que les nœuds les plus proches de la trace du fond de fissure sur le plan $(1,y,z)$ au dernier instant de propagation ont leur level-set très proches de zéro.

| Instant de propagation | Nœud | Coordonnée $y_i$ | Coordonnée $z_i$ |
|---|---|---|---|
| 3 | N219 | 3.14 | 9.00 |
| | N1576 | 2.57 | 8.70 |
| | N1577 | 2.86 | 8.70 |
| | N2636 | 2.57 | 9.30 |
| | N2637 | 2.86 | 9.30 |

Ces nœuds sont ceux inclus dans un rayon de capture valant la plus grande arête d'un élément, centré sur la trace du fond de fissure sur le plan $(1,x,y)$.

On identifie ces nœuds dans le fichier message ( $.mess$ ) de la modélisation B et on estime la valeur de leurs level-sets dans les modélisations A, D, E, F, I et J.



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

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode SIMPLEXE est utilisée par PROPA_FISS.

## 3.2 Caractéristiques du maillage

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

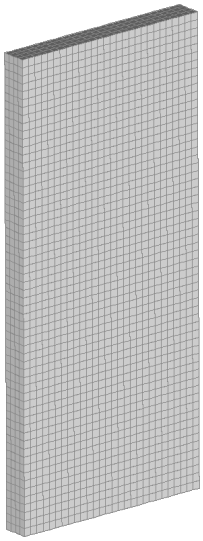


**Figure 3.2-a: maillage de la structure**

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

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

On extrait la level set normale ( $LSN$ ) et tangente ( $LST$ ) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale restent comprises dans le cercle de capture des nœuds testés autour du front de fissure, soit $2/3$ :

| $Propag.\ i$ | $Max\ LSN_i$ | $Min\ LSN_i$ | $Max\ LST_i$ | $Min\ LST_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.233 | 0.40 | 0.33 | 0.28 |

Les résultats obtenus montrent bien que les level-sets restent inférieures au rayon dans lequel le front de fissure a été localisé. Cela signifie que le fond de fissure a été correctement localisé par la méthode SIMPLEXE.



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

# 4 Modélisation B

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode MAILLAGE est utilisée par PROPA_FISS.
L'option CALC_K_G est utilisée par CALC_G_XFEM.

## 4.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que pour la modélisation A.

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste, en non régression, la position du fond de fissure à la dernière itération de propagation.

| Instant de propagation | Coordonnée $y_i$ | Coordonnée $z_i$ |
|---|---|---|
| 3 | 2.8 | 9 |



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.
L'option CALC_K_G est utilisée par CALC_G_XFEM.

## 5.2 Caractéristiques du maillage

On utilise le même maillage que pour la modélisation A.

## 5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste, en non régression, la position du fond de fissure à la dernière itération de propagation.

| Instant de propagation | Coordonnées $y_i$ | Coordonnées $z_i$ |
|---|---|---|
| 3 | 2.8 | 9 |



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

# 6 Modélisation D

## 6.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode UPWIND sans grille auxiliaire est utilisée par PROPA_FISS.

## 6.2 Caractéristiques du maillage

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

## 6.3 Grandeurs testées et résultats

On extrait la level set normale ( $LSN$ ) et tangente ( $LST$ ) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale restent comprises dans le cercle de capture des nœuds testés autour du front de fissure, soit $2/3$ :

| $Propag.i$ | $Max\ LSN_i$ | $Min\ LSN_i$ | $Max\ LST_i$ | $Min\ LST_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.216 | -0.479 | 0.317 | -0.307 |

Les résultats obtenus montrent bien que les level-sets restent inférieures au rayon dans lequel le front de fissure a été localisé. Cela signifie que le fond de fissure a été correctement localisé par la méthode UPWIND.



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

# 7 Modélisation E

## 7.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode GEOMETRIQUE est utilisée par PROPA_FISS.

## 7.2 Caractéristiques du maillage

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

## 7.3 Grandeurs testées et résultats

On extrait la level set normale ( $LSN$ ) et tangente ( $LST$ ) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale restent comprises dans le cercle de capture des nœuds testés autour du front de fissure, soit $2/3$ :

| $Propag.\ i$ | $Max\ LSN_i$ | $Min\ LSN_i$ | $Max\ LST_i$ | $Min\ LST_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.235 | 0.397 | 0.333 | 0.272 |

Les résultats obtenus montrent bien que les level-sets restent inférieures au rayon dans lequel le front de fissure a été localisé. Cela signifie que le fond de fissure a été correctement localisé par la méthode GEOMETRIQUE.



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

# 8 Modélisation G

## 8.1 Caractéristiques de la modélisation

Le but de cette modélisation est de valider de façon globale l'ensemble de la procédure de propagation *avec éléments cohésifs*. La méthode GEOMETRIQUE est donc utilisée par PROPA_FISS, alternativement avec les opérations DETEC_COHESIF et PROPA_COHESIF, pour actualiser respectivement la level-set tangente (et donc le front de propagation) et la level-set normale (et donc la surface de fissuration « possible »). L'angle de bifurcation est déterminé par CALC_G (en FEM, fissure maillée), et les éléments cohésifs sont introduits dans le modèle par la commande DEFI_CONTACT.

## 8.2 Caractéristiques du maillage

On utilise un maillage non structuré, la fissure initiale étant maillée. Il comporte 16632 éléments de type TETRA4.

## 8.3 Grandeurs testées et résultats

On effectue deux pas de propagation, puis on extrait la position du front de propagation au terme de cette opération. La validation consiste en un test de non-régression sur la position de ce front. Afin de réduire le nombre de tests, on teste les coordonnées $Y$ et $Z$ maximale et minimale le long du front.

| $Propag.i$ | $Max(Y)$ | $Min(Y)$ | $Max(Z)$ | $Min(Z)$ |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 3.14 | 3.05 | 9.04 | 9.03 |

Nous représentons en figure 8.3-a une vue de la déformée et du champ de contrainte au terme du second pas de propagation. La fissure tend à se redresser pour propager dans un plan.

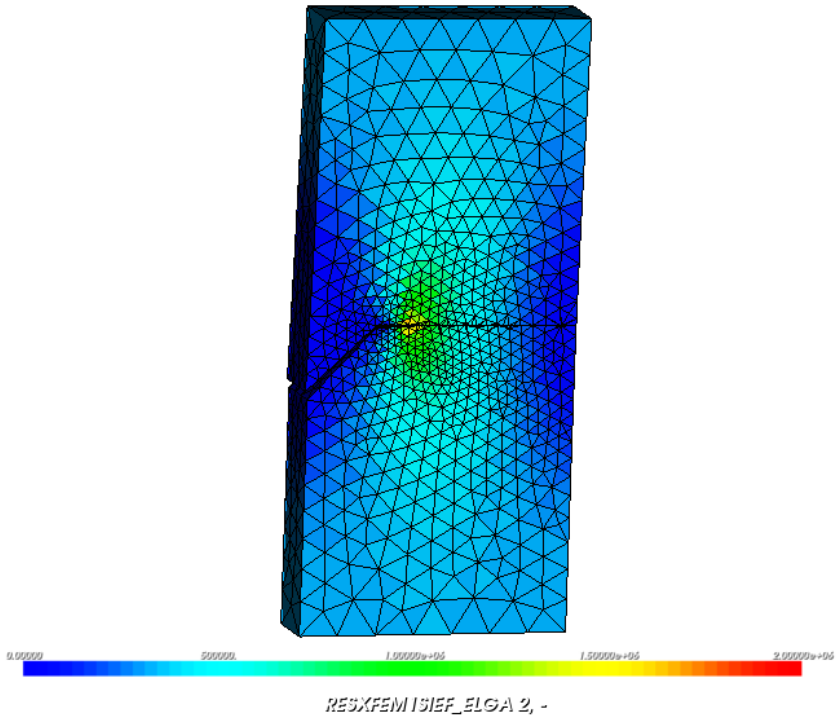



**Figure 8.3-a: déformée et champ de contraintes**



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)

# 9 Modélisation H

## 9.1 Caractéristiques de la modélisation

Le but de cette modélisation est de valider de façon globale l'ensemble de la procédure de propagation *avec éléments cohésifs*. La méthode GEOMETRIQUE est donc utilisée par PROPA_FISS, alternativement avec les opérations DETEC_COHESIF et PROPA_COHESIF, pour actualiser respectivement la level-set tangente (et donc le front de propagation) et la level-set normale (et donc la surface de fissuration « possible »).

## 9.2 Caractéristiques du maillage

On utilise un maillage structuré, la fissure initiale étant maillée. Il comporte 2032 éléments de type PENTA6.

## 9.3 Grandeurs testées et résultats

On effectue deux pas de propagation, puis on extrait la position du front de propagation au terme de cette opération. La validation consiste en un test de non-régression sur la position de ce front. Afin de réduire le nombre de tests, on teste les coordonnées $Y$ et $Z$ maximale et minimale le long du front.

| $Propag.\,i$ | $Max(Y)$ | $Min(Y)$ | $Max(Z)$ | $Min(Z)$ |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 3.14 | 3.14 | 8.96 | 8.96 |



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

# 10 Modélisation I

## 10.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode GEOMETRIQUE est utilisée par PROPA_FISS, avec CRIT_ANGL_BIFURCATION = 'SITT_MAX_DEVER'. Les angles de branchement et déversement sont calculés en prenant en compte la valeur de KIII. La rotation de déversement est activée.

## 10.2 Caractéristiques du maillage

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

## 10.3 Grandeurs testées et résultats

On extrait la level set normale ( $LSN$ ) et tangente ( $LST$ ) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale restent comprises dans le cercle de capture des nœuds testés autour du front de fissure, soit $2/3$ :

| $Propag.\ i$ | $Max\ LSN_i$ | $Min\ LSN_i$ | $Max\ LST_i$ | $Min\ LST_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.237 | 0.397 | 0.317 | 0.274 |

Les résultats obtenus montrent bien que les level-sets restent inférieures au rayon dans lequel le front de fissure a été localisé. Cela signifie que le fond de fissure a été correctement localisé par la méthode GEOMETRIQUE avec prise en compte de KIII et de la rotation de déversement.



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

# 11 Modélisation J

## 11.1 Caractéristiques de la modélisation

La méthode GEOMETRIQUE est utilisée par PROPA_FISS, avec CRIT_ANGL_BIFURCATION = 'ANGLE_IMPO_GAMMA'. L'angle de branchement BETA est calculé en prenant en compte la valeur de KIII et l'angle de déversement GAMMA est forcé à zéro.

## 11.2 Caractéristiques du maillage

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

## 11.3 Grandeurs testées et résultats

On extrait la level set normale ( $LSN$ ) et tangente ( $LST$ ) en utilisant l'opérateur POST_RELEVE_T et on vérifie que les valeurs maximale et minimale restent comprises dans le cercle de capture des nœuds testés autour du front de fissure, soit $2/3$ :

| $Propag.\ i$ | $Max\ LSN_i$ | $Min\ LSN_i$ | $Max\ LST_i$ | $Min\ LST_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.237 | 0.397 | 0.317 | 0.274 |

Les résultats obtenus montrent bien que les level-sets restent inférieures au rayon dans lequel le front de fissure a été localisé. Cela signifie que le fond de fissure a été correctement localisé par la méthode GEOMETRIQUE avec prise en compte de KIII et rotation de déversement forcée à zéro.



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

# 12 Synthèse des résultats

Toutes les méthodes de propagation utilisées (SIMPLEXE, MAILLAGE, UPWIND ET GEOMETRIQUE) de l'opérateur PROPA_FISS ont permis de bien calculer la position d'une fissure propageant en mode mixte dans une structure 3D .



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