# SSLV319 - Propagation plane d'une fissure semi-elliptique

**Résumé :**

Ce test a pour but de valider la propagation plane d'une fissure en observant le déplacement du fond de fissure lors de la propagation.

Ce test met en jeu un pavé avec une fissure débouchante semi-elliptique plane, soumise à une force de traction.

La fissure est représentée par la méthode X-FEM et la propagation simulée à l'aide de la commande PROPA_FISS.

Nous allons comparer les résultats à une solution expérimentale.

Ce test contient quatre modélisations :

La modélisation A utilise la méthode MAILLAGE de l'opérateur PROPA_FISS.
La modélisation B utilise la méthode GEOMETRIQUE de l'opérateur PROPA_FISS.
La modélisation C utilise la méthode GEOMETRIQUE de l'opérateur PROPA_FISS, avec des éléments cohésifs. On utilise l'opération DETECT_COHESIF pour la détermination de l'avancée du front.
La modélisation D utilise la méthode SIMPLEXE de l'opérateur PROPA_FISS .



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

On considère un barreau tridimensionnel ayant pour dimensions :
- hauteur : $LZ$ = 4 mm,
- coté : $LX$ = $LY$ = 1 mm.

Ce barreau comporte une fissure plane, semi-elliptique. La fissure est située dans le plan $Oxy$ . Les caractéristiques de la fissures sont les suivantes :
- demi-grand axe : $a$ = 119 µm
- demi-petit axe : $b$ = 100 µm.

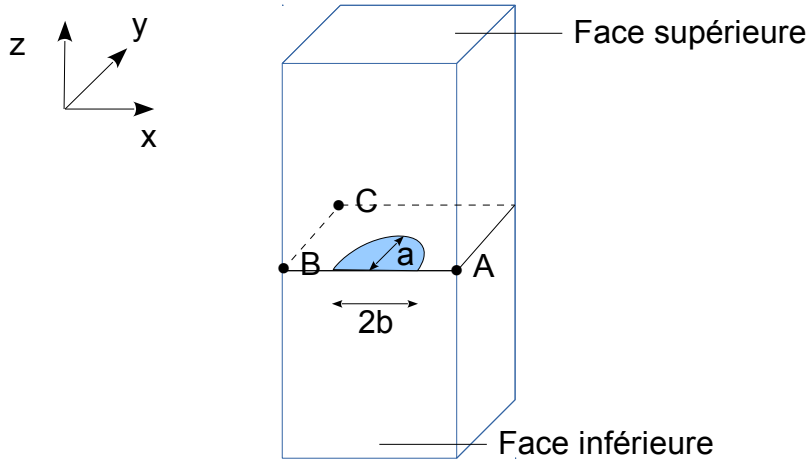



**Figure 1.1-1: Géométrie de la fissure initiale**

## 1.2 Propriétés de matériaux

Le matériau est élastique isotrope dont les propriétés sont :
$E=200\,000\,MPa$
$\nu=0,3$

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

### 1.3.1 Chargement cyclique pour étude de fatigue

La structure est soumise à un chargement de fatigue sous amplitude constante : traction $\sigma_{max}=220\,MPa$ et un ratio $R=0,1$. La température est la température ambiante. La fréquence de chargement est de $40\,Hz$ . Un chargement de 4000 cycles est appliqué.

L'effort de traction est appliqué sur les faces supérieure et inférieure.

Le blocage des modes rigides est effectué de la manière suivante :
- le point $A$ est bloqué dans les directions $Oy$ et $Oz$ ,
- le point $B$ est bloqué dans les directions $Oy$ et $Oz$ ,
- le point $C$ est bloqué dans les directions $Ox$ et $Oz$ .

### 1.3.2 Modélisation avec zones cohésives : chargement monotone



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

Pour cette modélisation, le chargement est monotone au lieu d'être cyclique : la structure est soumise à une traction $\sigma_{max} = 220\,MPa$. L'effort de traction est appliqué sur les faces supérieure et inférieure.

Le blocage des modes rigides est effectué de la manière suivante :

- le point $A$ est bloqué dans les directions $Oy$ et $Oz$,
- le point $B$ est bloqué dans les directions $Oy$ et $Oz$ ,
- le point $C$ est bloqué dans les directions $Ox$ et $Oz$ .



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

# 2 Solution de référence

## 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence a été obtenue par voie expérimentale 4. Dans cet article, une simulation numérique est également réalisée.

## 2.2 Résultats de référence

La loi de propagation en fatigue de type Paris issues des essais est la suivante :
$\frac{da}{dN}=C(\Delta K)^m$ avec $C=10^{-9,2}$ et $m=3,5$ . Les valeurs des coefficients de la loi de Paris sont données pour des $\Delta K$ en $MPa.\sqrt{m}$ et une vitesse $\frac{da}{dN}$ en $m/cycle$ .

Après 4000 cycles, le point le plus profond du fond de fissure a atteint expérimentalement la côte $y=173\,\mu m$ . La 1 présente le fond de fissure expérimental et calculé numériquement après 4000 cycles.

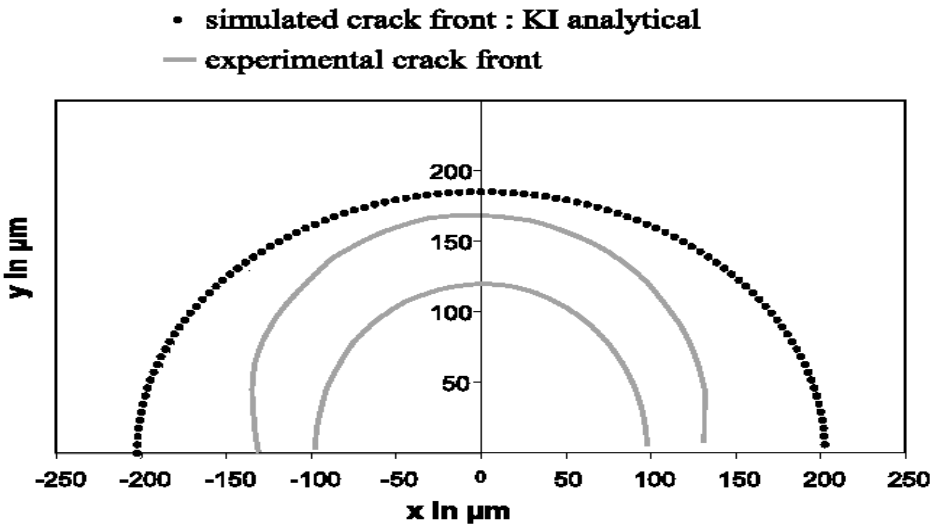



**Figure2.1 1: Fond de fissure**

## 2.3 Références bibliographiques

[1] E. Ferrié, J.Y. Buffière, W. Ludwig, A. Gravouil, L. Edwards, Fatigue crack propagation: In situ visualistion using X-ray microtomography and 3D simulation using the extend finite element method, Acta Materialia 54, pp. 1111-1122, 2006



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

# 3 Modélisation A : Méthode MAILLAGE

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Dans cette modélisation, la fissure n'est pas maillée. On utilise la méthode X-FEM et une représentation de la fissure par level sets. La mise à jour des level sets est réalisée par l'opérateur PROPA_FISS, méthode MAILLAGE.

## 3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage initial des la structure est relativement grossier. Il a été réalisé dans le module SMESH de Salomé, avec Blsurf et GHS3D. La taille définie pour le maillage surfacique Blsurf est $2\,mm$ .

unité du maillage : mètres

Nombre de nœuds : 2268
Nombre de mailles et type : 10690 TETRA4

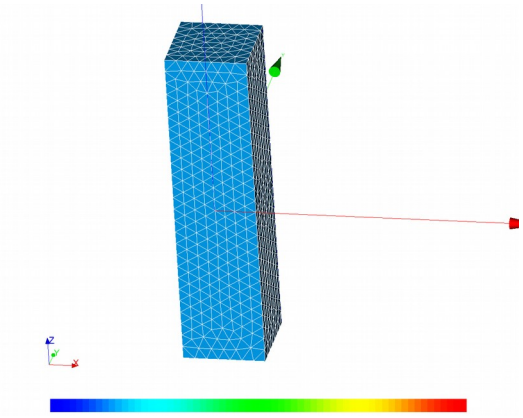
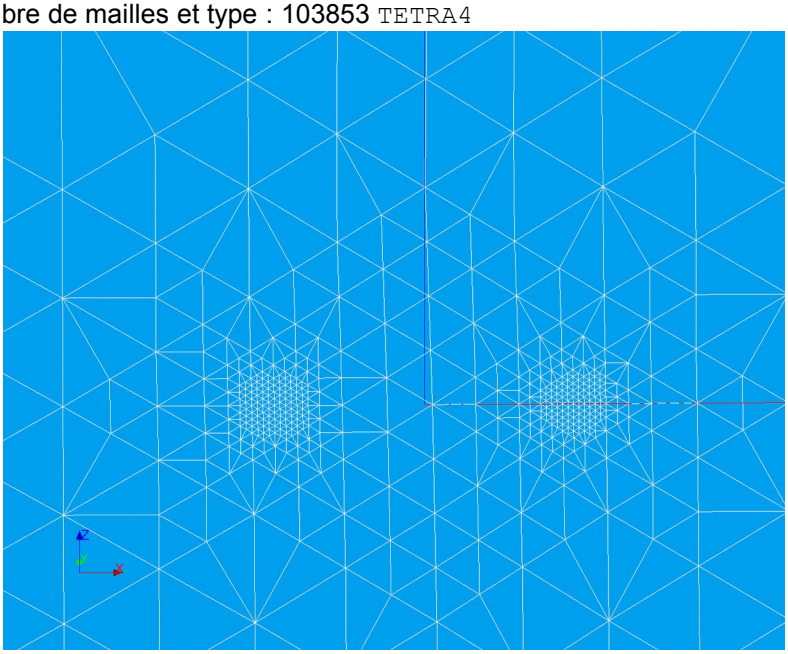


**Figure 3.2-1:**

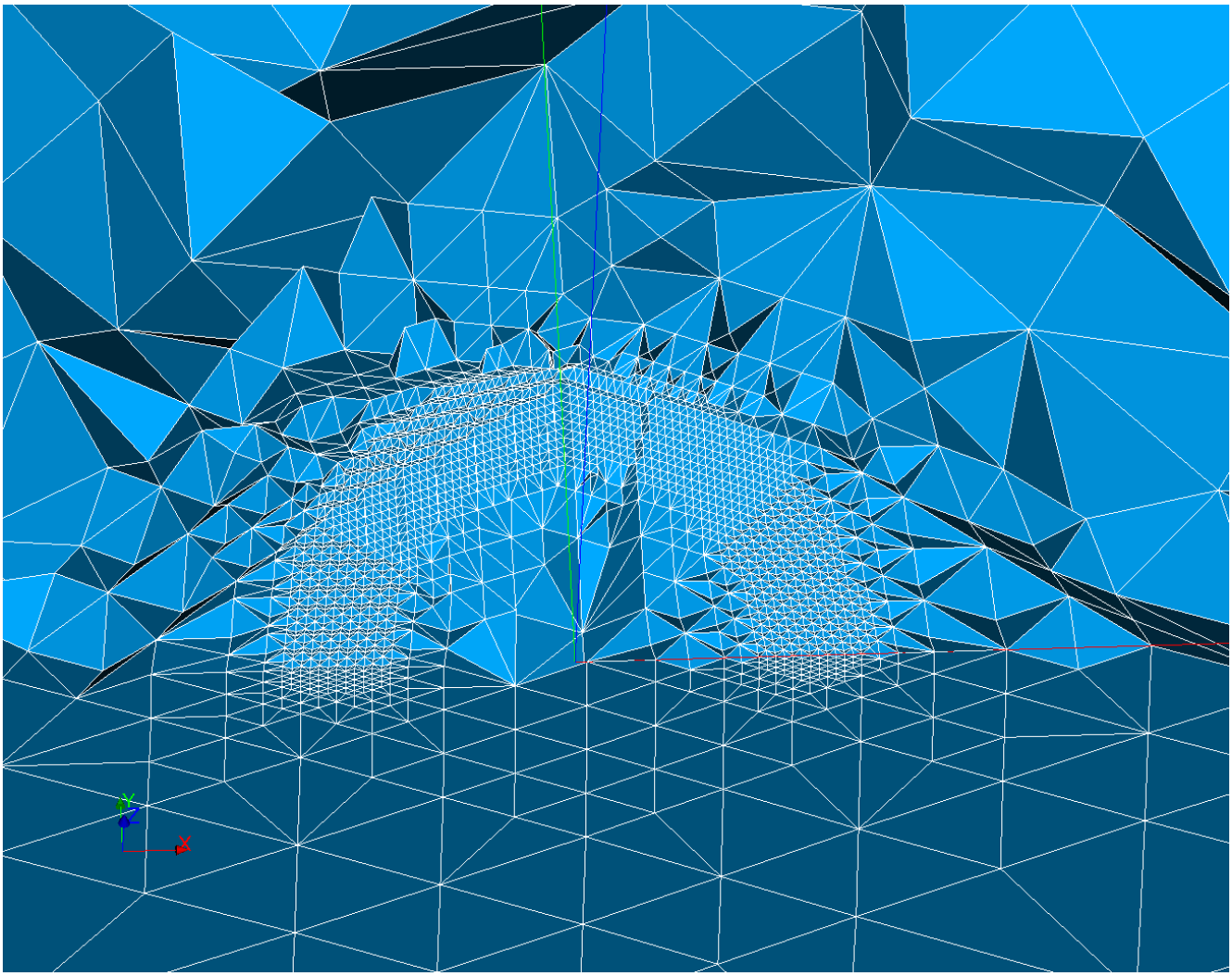
Une procédure de raffinement automatique est mise en place. Après raffinement autour du fond de fissure, la longueur caractéristique d'un élément près du fond de fissure est de $5\,\mu m$ .
Le maillage raffiné a les caractéristiques suivantes :

- Nombre de nœuds : 18325
- Nombre de mailles et type : 103853 TETRA4





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



## 3.3 Conditions aux limites et chargements

- Un effort de traction est appliqué sur les faces supérieure et inférieure et celle de droite ;
- On bloque les modes rigides de la manière suivante :
  nœud $A$ : $DY=DZ=0$ , nœud $B$ : $DY=DZ=0$ , et nœud $C$ : $DX=DZ=0$

## 3.4 Grandeurs testées et résultats

On teste la position du point du fond de fissure le plus profond. Cela revient à tester la coordonnée maximale suivant l'axe $Y$ des points du fond de fissure après un pas de propagation.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | % Tolérance |
|---|---|---|---|
| $max(Y)$ | 'SOURCE_EXTERNE' | 173,3 $10^{-6}$ | 5% |



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

# 4 Modélisation B : Méthode GEOMETRIQUE

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Dans cette modélisation, la fissure n'est pas maillée. On utilise la méthode X-FEM et une représentation de la fissure par level sets. La mise à jour des level sets est réalisée par l'opérateur PROPA_FISS, méthode GEOMETRIQUE.
Le maillage initial, les conditions aux limites et les chargements sont identiques à ceux de la modélisation A.

## 4.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la position du point du fond de fissure le plus profond. Cela revient à tester la coordonnée maximale suivant l'axe $Y$ des points du fond de fissure après un pas de propagation.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | % Tolérance |
|---|---|---|---|
| $max(Y)$ | 'SOURCE_EXTERNE' | 173,3 $10^{-6}$ | 5% |



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

# 5 Modélisation C : validation de DETECT_COHESIF

## 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Dans cette modélisation, la fissure initiale est maillée. Elle est prolongée dans son plan par une zone de fissuration cohésive, représentée par level sets et dont la discontinuité est décrite par la méthode XFEM. La loi CZM_LIN_MIX est introduite dans le modèle XFEM par la commande DEFI_CONTACT.

Une charge de traction *monotone* est appliquée : la zone cohésive s'ouvre, propageant ainsi la fissure. A la fin du calcul, une détection du nouveau front de propagation est réalisée, qui détermine la limite amont de la zone cohésive. Elle est réalisée par l'opérateur PROPA_FISS, avec la méthode GEOMETRIQUE, en spécifiant l'opération DETECT_COHESIF (OPERATION = 'DETECT_COHESIF').

## 5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est assez grossier, mais raffiné au niveau de la pointe de fissure initiale. Pour plus de régularité du front détecté, il s'agit d'un maillage rayonnant autour de la pointe.
Nombre de nœuds : 18167
Nombre de mailles et type : 15120 HEXA8 et 2440 PENTA6

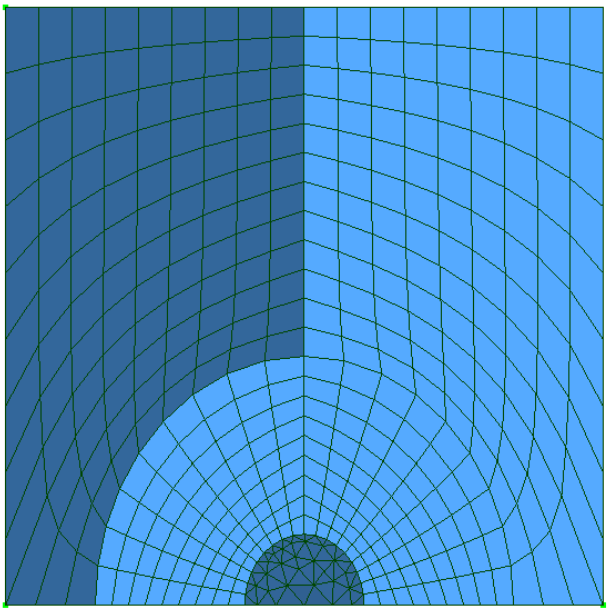


**Figure 5.2-1: vue en plan de coupe de la surface fissurée et maillage rayonnant**

## 5.3 Grandeurs testées et résultats

La validation se fait sur l'avancée du front détecté après ce premier pas de propagation. Faute de données expérimentales pour un chargement monotone, il s'agit d'un test de non régression. Nous avons représenté en figure 5.3-1 le font de fissure initial et le front détecté après le premier pas de propagation. Bien que nous n'ayons pas de référence quantitative, nous remarquons que l'allure qualitative du front est similaire à celle des expériences de fatigue.



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

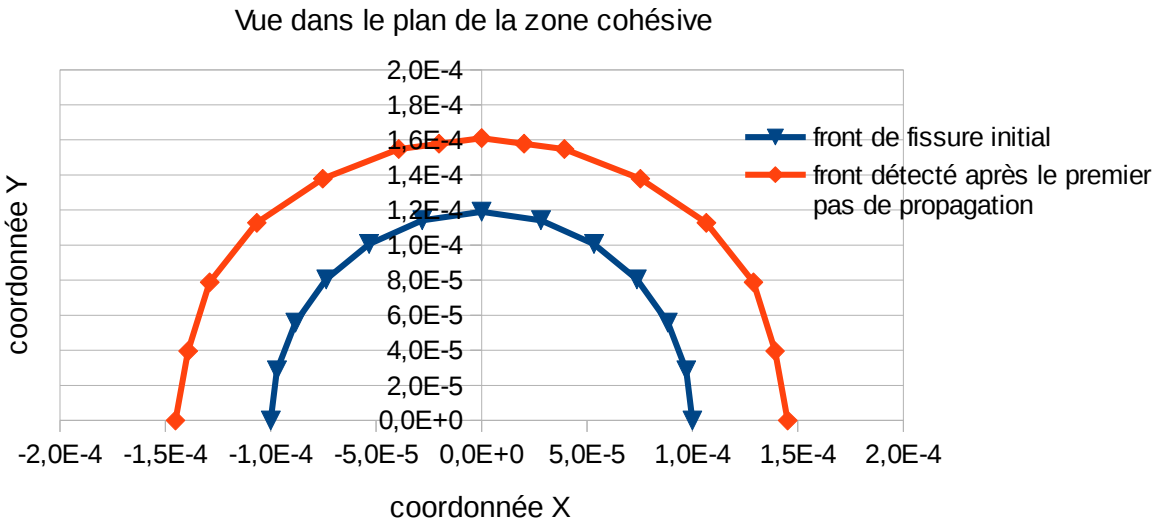



**Figure 5.3-1: front initial et front détecté après le premier pas de propagation**

On teste la position du point du fond de fissure le plus profond. Cela revient à tester la coordonnée maximale suivant l'axe $Y$ des points du fond de fissure après un pas de propagation.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | % Tolérance |
|---|---|---|---|
| $max(Y)$ | 'NON_REGRESSION' | 1,61048 $10^{-4}$ | 0.1 % |



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

# 6 Modélisation D : Méthode SIMPLEXE

## 6.1 Caractéristiques de la modélisation

Dans cette modélisation, la fissure n'est pas maillée. On utilise la méthode X-FEM et une représentation de la fissure par level sets. La mise à jour des level sets est réalisée par l'opérateur PROPA_FISS, méthode SIMPLEXE.
Le maillage initial, les conditions aux limites et les chargements sont identiques à ceux de la modélisation A.

## 6.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la position du point du fond de fissure le plus profond. Cela revient à tester la coordonnée maximale suivant l'axe $Y$ des points du fond de fissure après un pas de propagation.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | % Tolérance |
|---|---|---|---|
| $max(Y)$ | 'SOURCE_EXTERNE' | 173,3 $10^{-6}$ | 5% |



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

# 7 Synthèse des résultats

Ce cas-test valide la mise à jour des level sets suite à un pas de propagation plane avec la méthode MAILLAGE, la méthode GEOMETRIQUE et la méthode SIMPLEXE.



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