SSNP312 - DMT94.132 Fissure parallèle à l'interface dans une éprouvette CT bimétallique

Résumé :

Ce test est issu de la validation indépendante de la version 3 en mécanique de la rupture.

Il s'agit d'un test bidimensionnel en statique (déformations planes) qui porte sur le calcul d'une fissure parallèle à l'interface entre deux matériaux, pour une géométrie non triviale en domaine borné.

La structure a un comportement élastoplastique de Von Mises à écrouissage isotrope. Les calculs sont menés en élasticité non linéaire.

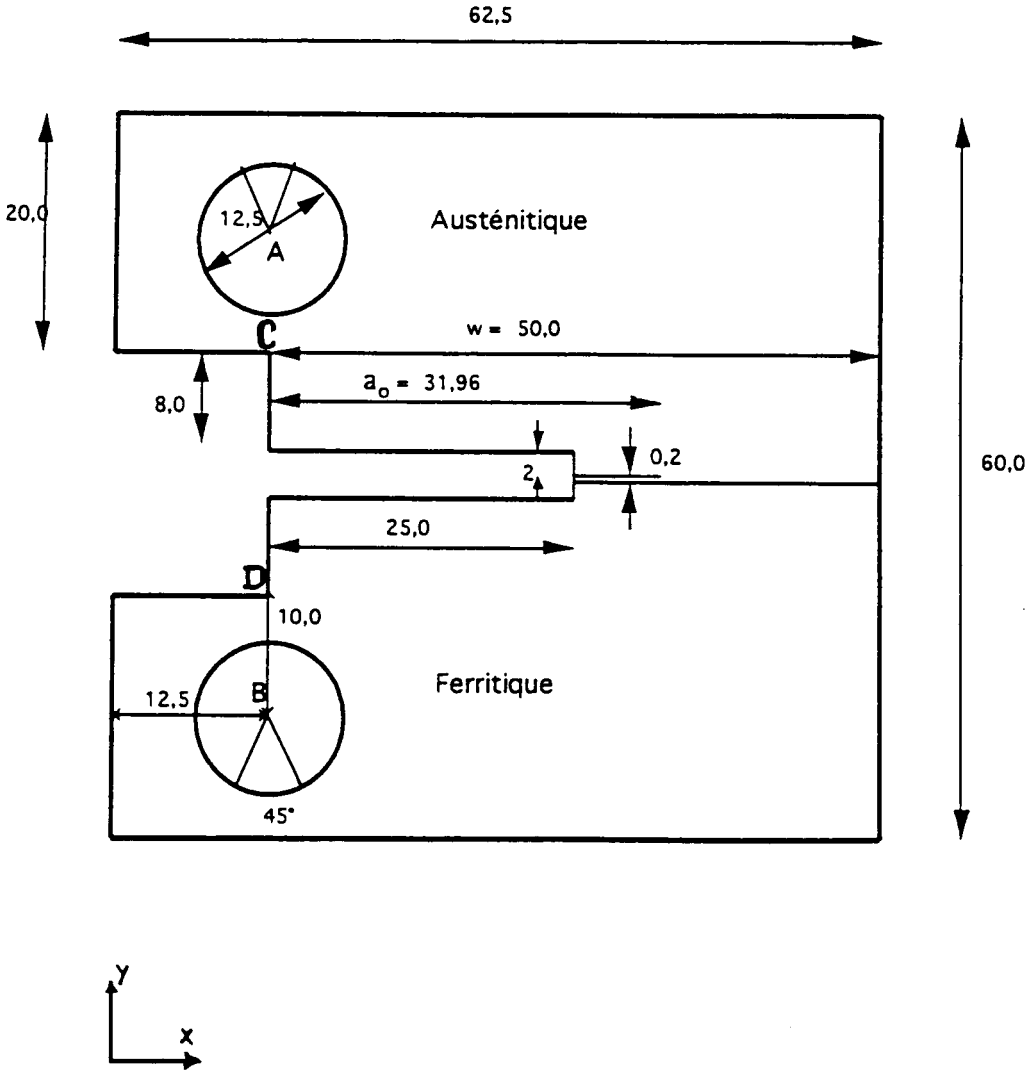
L'objectif de ce cas test est l'étude de la sensibilité de G au choix des couronnes.

Il comprend deux modélisations $2\mathrm{D}$ planes dans lesquelles on étudie l'influence d'un déplacement incrémental imposé. La première modélisation utilise des éléments linéaires, l'autre des éléments quadratiques.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Toutes les cotes sont exprimées en mm . La fissure se trouve à $0,2\,mm$ de l'interface, dans la partie supérieure de l'éprouvette.

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

1.2 Propriétés des matériaux

Matériau n° 1 : acier austénitique

Élastoplastique de type von Mises à écrouissage isotrope
Module d'Young $E_1=2.10^5\,MPa$, coefficient de Poisson $\nu_1=0,3$
Limite élastique $\sigma_{y1}=310\,MPa$
Courbe de traction uniaxiale:

$\sigma\,(MPa)$	0	310	600	700
ε	0	0,155	40	100

Matériau n° 2 : acier ferritique

Elastoplastique de type von Mises à écrouissage isotrope
Module d'Young $E_2=2.10^5\,MPa$, coefficient de Poisson $\nu_2=0,3$
Limite élastique $\sigma_{y2}=442\,MPa$

$\sigma\,(MPa)$	0	442	600	650
ε	0	0,221	40	100

Matériau n° 3 : goupilles quasi indéformables

Elastique linéaire isotrope
Module d'Young $E_3=6.10^{10}\,MPa$, coefficient de Poisson $\nu_3=0,3$

1.3 Conditions aux limites et chargement

Etant donné la dissymétrie des matériaux, la totalité de l'éprouvette est modélisée.

Blocages :

$UX=UY=0$ au point B (centre de la goupille inférieure)
$UX=0$ au point A (centre de la goupille supérieure)

Chargement par déplacement imposé :

$0\leq UY\leq 1\,mm$ au point A , par incréments égaux de $0,02\,mm$

Le chargement est donc monotone croissant.

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 utilisée est une formule semi-empirique issue des travaux de l'ASTM [bib1].

2.2 Résultats de référence

La formule de l'ASTM pour l'intégrale de Rice J est la suivante :

$$J_{ASTM}=(2+0,522*b_0/w)*A/b_0 ,$$

où $b_0=w-a_0$ est la longueur initiale du ligament et où A est l'aire sous la courbe charge-déplacement au point A , c'est à dire le travail de la charge appliquée.

L'intégrale J_{ASTM} est comparée sur la figure ci-dessous au taux de restitution de l'énergie G issu d'un calcul par éléments finis avec CASTEM2000 et la méthode theta [bib2]. On trace également la courbe de réponse force-déplacement et l'ouverture des lèvres de la fissure calculées par éléments finis.

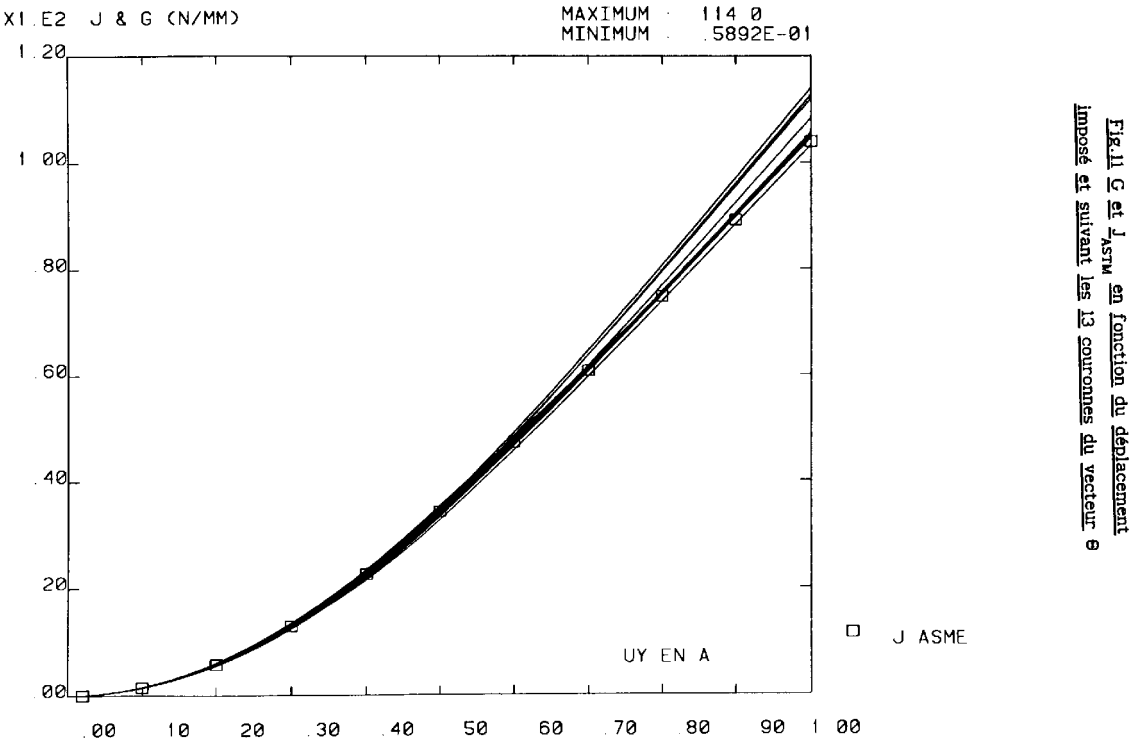


Fig.11 G et J_{ASTM} en fonction du déplacement imposé et suivant les 13 couronnes du vecteur θ

Taux de restitution de l'énergie G en fonction du déplacement en A

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

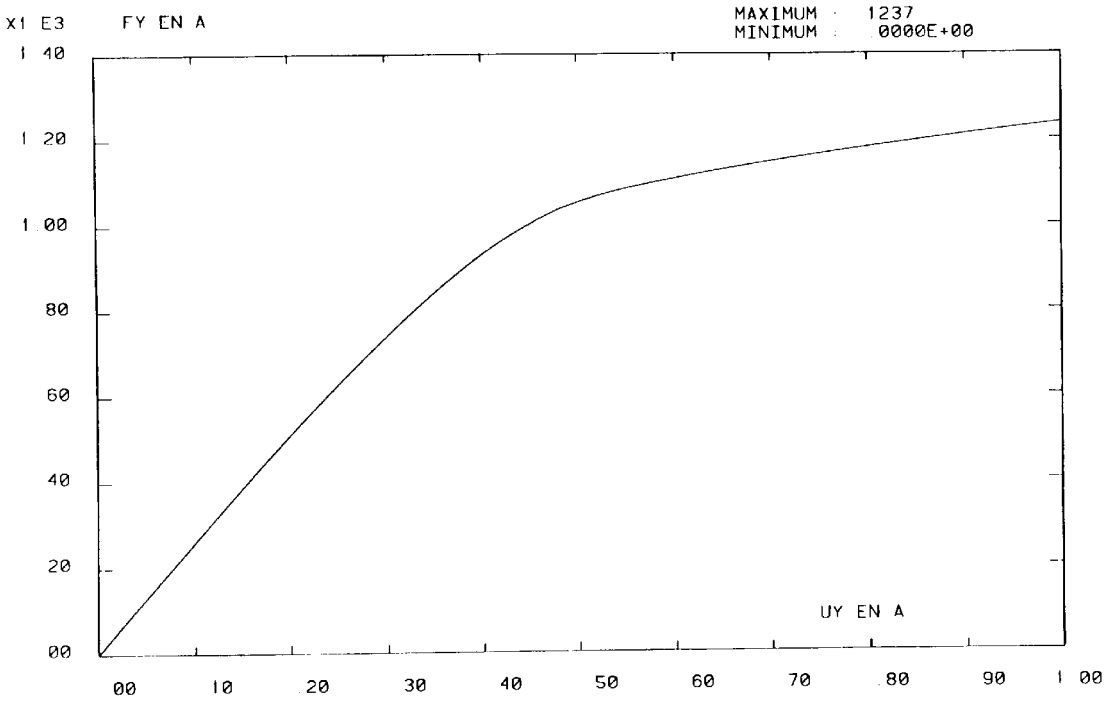


Fig.7 Fy au point A en fonction de Uy au point A

Courbe de réponse force-déplacement au point A

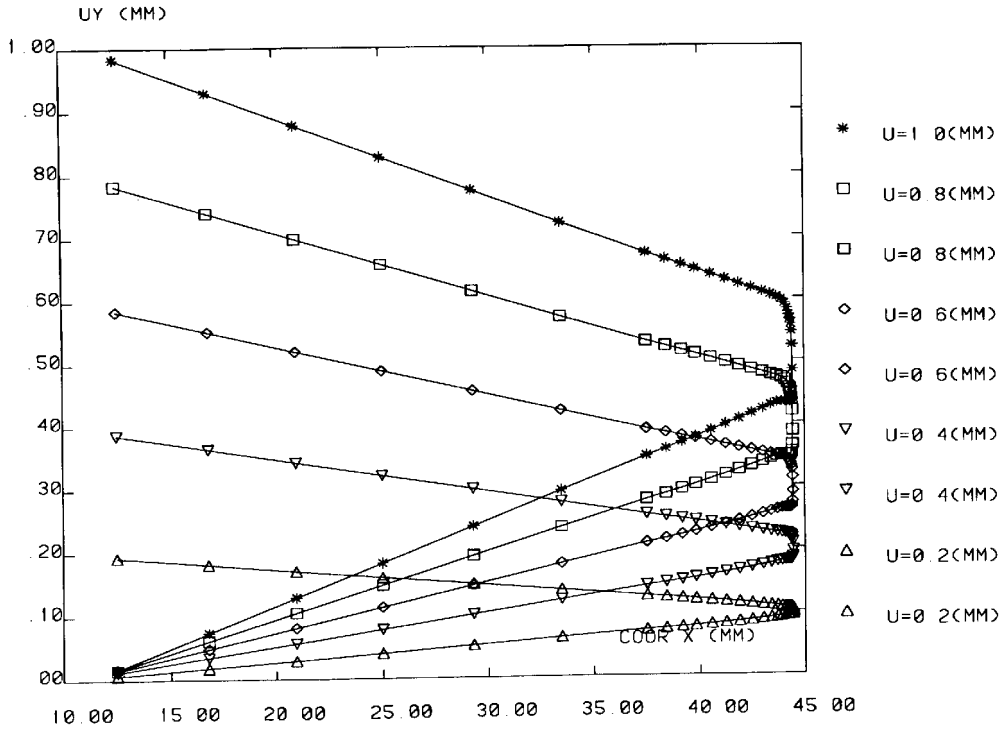


Fig.10 Déplacements des deux lèvres de la fissure au cours du chargement

Déplacement vertical des deux lèvres de la fissure

2.3 Incertitude sur la solution

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

Il faut signaler que la solution de référence n'est pas une solution exacte et qu'elle ne s'applique pas, en général, dans le cas des bi-matériaux. Elle est cependant exploitable pour cette étude car la fissure n'est pas située à l'interface des deux matériaux

L'écart maximum entre les résultats CASTEM2000 et la formule de l'ASTM est d'environ $9\,\%$ pour la première couronne (la plus proche de la fissure) et le chargement maximum. Cet écart diminue quand on prend des couronnes plus éloignées du fond de fissure.

Le calcul Castem 2000 a été mené sur le même maillage que la modélisation A de ce cas test.

2.4 Références bibliographiques

1) American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards, vol 3.01, Section 3, Metals Test Methods and Analytical Procedures, article E813, page 711, 1990.

2) X.Z. SUO et J. BROCHARD : Calcul élasto-plastique d'une éprouvette CT bimétallique avec une fissure proche de l'interface. Rapport CEA DMT/94-132

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

3 Modélisation A

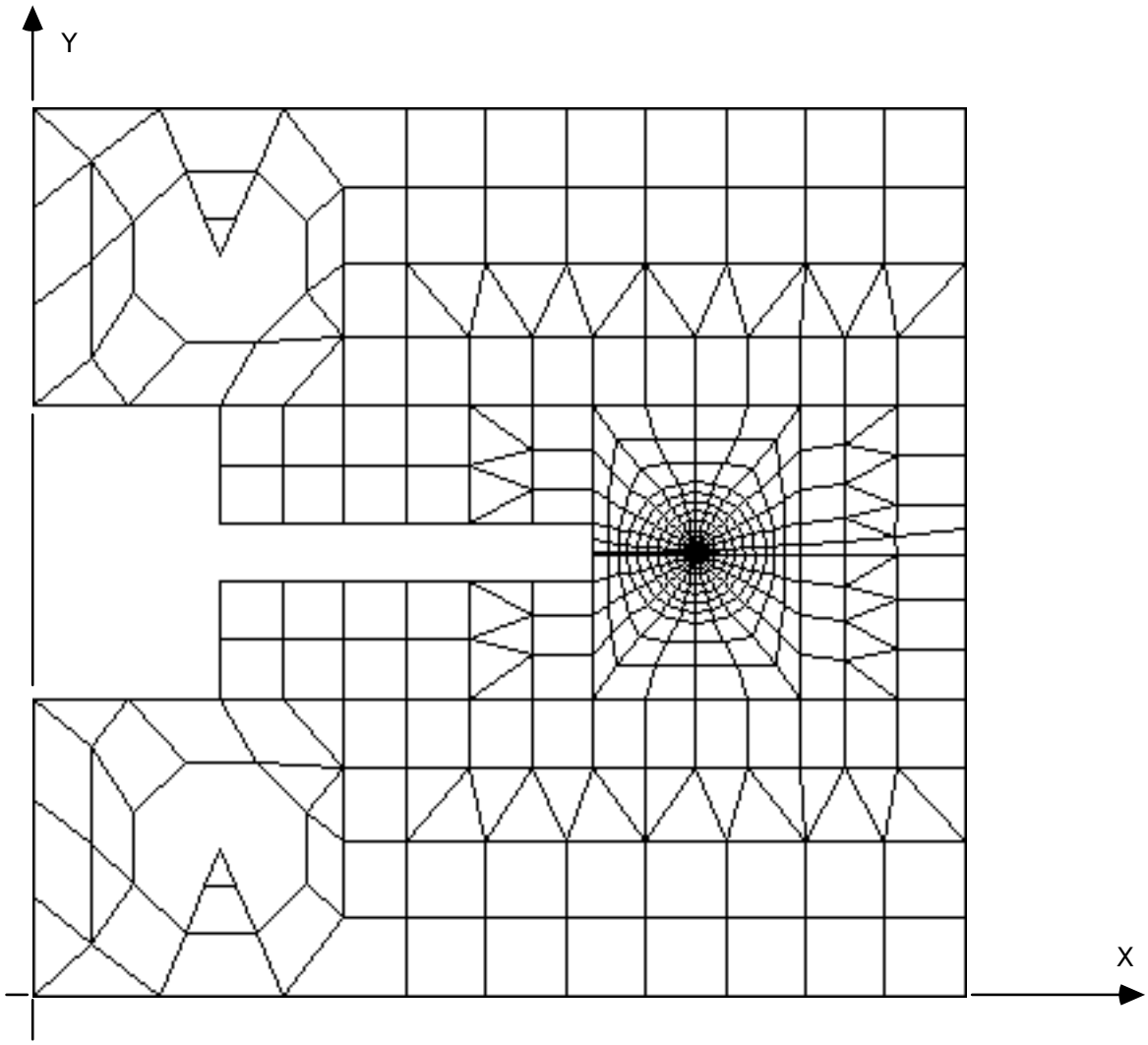
3.1 Caractéristiques de la modélisation

La totalité de l'éprouvette est maillée en éléments quadrangulaires à 4 noeuds ou triangulaires à 3 nœuds.

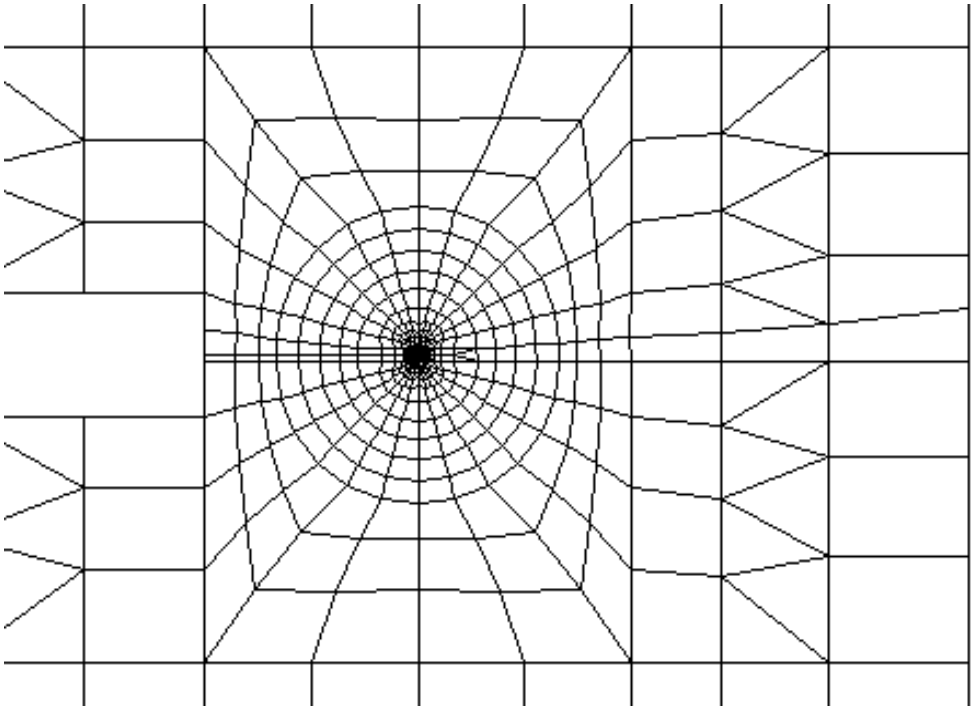
Elle comporte 799 nœuds, 624 quadrangles, 185 triangles et 261 segments.

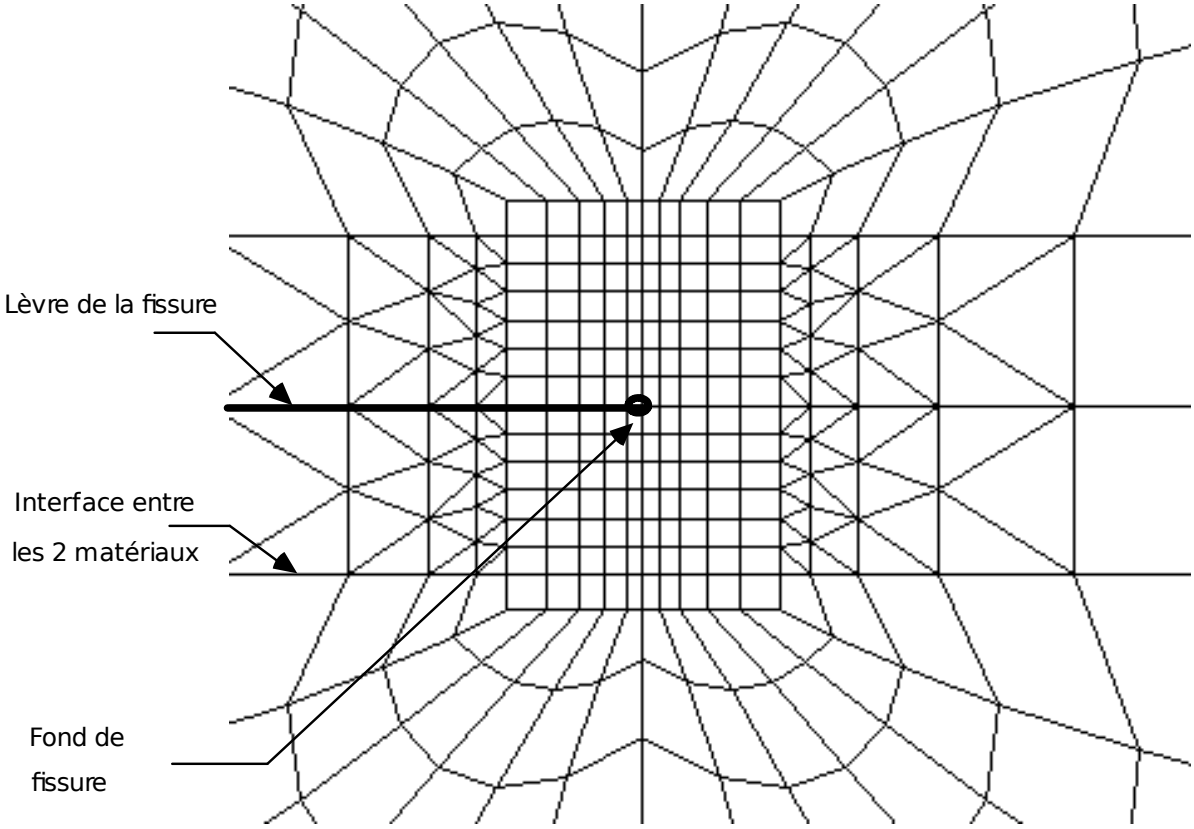
3.2 Caractéristiques du maillage

Éléments très petits ($0,02\ mm$) à la pointe de la fissure.
La première couronne est située dans un seul matériau, les 4 autres couronnes traversent l'interface entre les deux matériaux.



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





3.3 Grandeurs testées et résultats

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

Le taux de restitution d'énergie G est calculé par la méthode $THETA$ pour les 5 couronnes suivantes :

- Couronne 0 : $R_{inf}=0,02\,mm$ $R_{\sup}=0,18\,mm$
- Couronne 1 : $R_{inf}=0,2\,mm$ $R_{\sup}=1\,mm$
- Couronne 2 : $R_{inf}=1\,mm$ $R_{\sup}=2\,mm$
- Couronne 3 : $R_{inf}=2\,mm$ $R_{\sup}=3\,mm$
- Couronne 4 : $R_{inf}=3\,mm$ $R_{\sup}=5\,mm$

Valeurs testées

Identification	Référence J ASTM	*Aster*	% différence
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,2 mm	5,8	6,0	3,1
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,4 mm	22,6	23,2	2,8
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,6 mm	47,2	48,2	2,0
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,8 mm	74,7	75,0	0,5
G (N/mm) Couronne n°0 UY=1,0 mm	103,7	102,8	-0,8
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,2 mm	5,8	6,10	4,6
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,4 mm	22,6	23,2	2,8
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,6 mm	47,2	47,3	0,1
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,8 mm	74,7	73,1	-2,2
G (N/mm) Couronne n°1 UY=1,0 mm	103,7	99,8	-3,8
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,2 mm	5,8	6,1	4,3
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,4 mm	22,6	23,3	3,2
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,6 mm	47,2	48,0	1,6
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,8 mm	74,7	74,9	0,3
G (N/mm) Couronne n°2 UY=1,0 mm	103,7	103,1	-0,3

Identification	Référence J ASTM	*Aster*	% différence
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,2 mm	5,8	6,1	4,4
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,4 mm	22,6	23,3	3,3
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,6 mm	47,2	48,2	1,9
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,8 mm	74,7	75,5	1,0
G (N/mm) Couronne n°3 UY=1,0 mm	103,7	104,2	0,4
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,2 mm	5,8	6,1	4,5
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,4 mm	22,6	23,4	3,4
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,6 mm	47,2	48,2	2,1
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,8 mm	74,7	75,5	1,1
G (N/mm) Couronne n°4 UY=1,0 mm	103,7	104,4	0,7

Stabilité de G au choix des couronnes

Identification	Couronne 2	Couronne 3	Couronne 4	% écart maximum
G (N/mm) UY=0,2 mm	6,1	6,1	6,1	0,2

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

G (N/mm) UY=0,4 mm	23,3	23,3	23,4	0,1
G (N/mm) UY=0,6 mm	48,0	48,2	48,2	0,4
G (N/mm) UY=0,8 mm	74,9	75,5	75,5	0,5
G (N/mm) UY=1,0 mm	103,1	104,2	104,4	0,4

3.4 Remarques

Dans tous les cas, la valeur absolue de l'écart sur le calcul de G est inférieure à 5%. Pour les couronnes 3 à 5, l'écart diminue en fonction du déplacement pour atteindre une valeur quasi nulle.

La stabilité sur les couronnes 2, 3 et 4 est très bonne, l'écart entre couronnes est toujours inférieur à $0{,}5\ \%$.

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

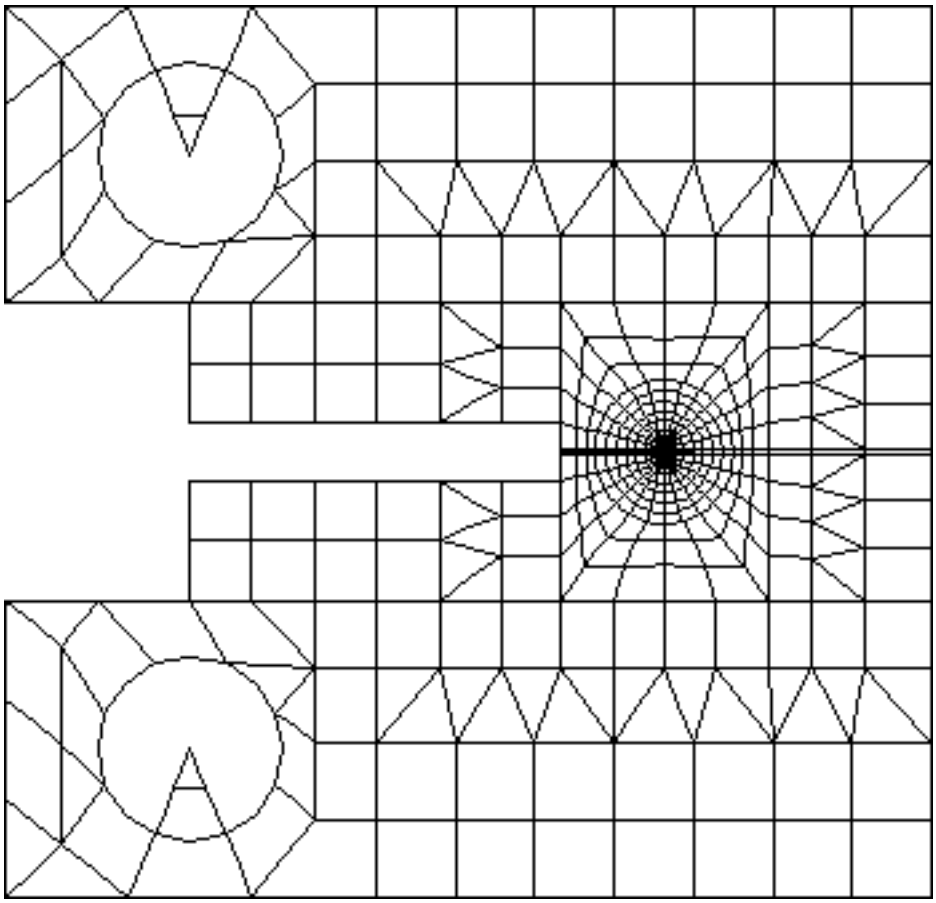
4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

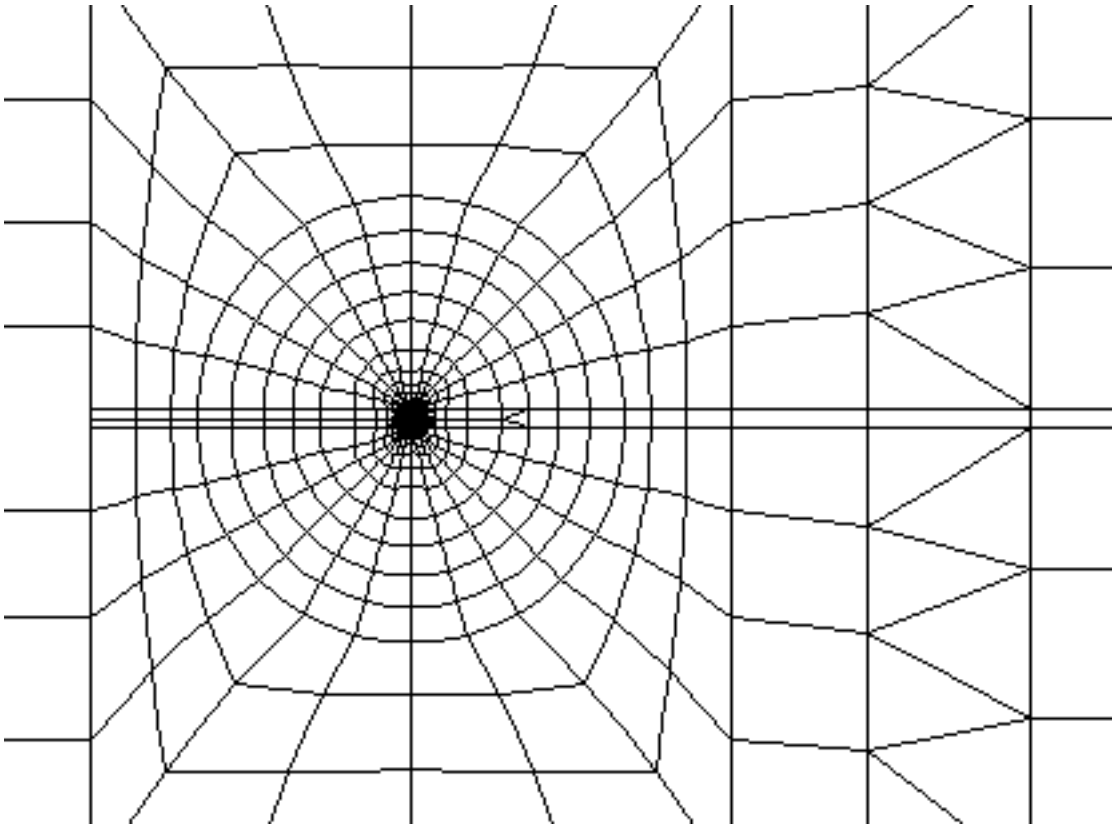
La totalité de l'éprouvette est maillée en éléments quadrangulaires à 8 nœuds ou triangulaires à 6 nœuds.

Elle comporte 2416 nœuds, 625 quadrangles, 185 triangles et 264 segments.

4.2 Caractéristiques du maillage



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



4.3 Grandeurs testées et résultats

Le taux de restitution d'énergie G est calculé par la méthode $THETA$ pour les 5 couronnes suivantes :

- Couronne 0 : $R_{inf}=0,02\,mm$ $R_{\sup}=0,18\,mm$
- Couronne 1 : $R_{inf}=0,2\,mm$ $R_{\sup}=1\,mm$
- Couronne 2 : $R_{inf}=1\,mm$ $R_{\sup}=2\,mm$
- Couronne 3 : $R_{inf}=2\,mm$ $R_{\sup}=3\,mm$
- Couronne 4 : $R_{inf}=3\,mm$ $R_{\sup}=5\,mm$

Identification	Référence J_{ASTM}	*Aster*	% différence
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,2 mm	5,8	6,2	6,9
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,4 mm	22,6	23,1	2,1
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,6 mm	47,2	47,2	0,2
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,8 mm	74,7	72,8	2,5
G (N/mm) Couronne n°0 UY=1,0 mm	103,7	98,2	4,3
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,2 mm	5,8	5,3	8,7
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,4 mm	22,6	20,7	8,3
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,6 mm	47,2	43,8	7,3
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,8 mm	74,7	68,6	8,2
G (N/mm) Couronne n°1 UY=1,0 mm	103,7	94,2	9,2

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

G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,2 mm	5,8	5,4	7,4
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,4 mm	22,6	21,1	6,8
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,6 mm	47,2	44,2	6,4
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,8 mm	74,7	69,1	7,5
G (N/mm) Couronne n°2 UY=1,0 mm	103,7	94,7	8,8

Identification	Référence J ASTM	*Aster*	% différence
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,2 mm	5,8	5,3	9,5
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,4 mm	22,6	20,2	10,6
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,6 mm	47,2	42,6	9,8
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,8 mm	74,7	67,2	10,1
G (N/mm) Couronne n°3 UY=1,0 mm	103,7	92,6	10,7

G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,2 mm	5,8	5,4	7,9
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,4 mm	22,6	20,8	8,0
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,6 mm	47,2	43,7	7,5
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,8 mm	74,7	68,4	8,4
G (N/mm) Couronne n°4 UY=1,0 mm	103,7	93,8	9,5

Stabilité de G au choix des couronnes

Identification	Couronne 2	Couronne 3	Couronne 4	% écart maximum
G (N/mm) UY=0,2 mm	5,4	5,3	5,4	2,2
G (N/mm) UY=0,4 mm	21,1	20,2	20,8	4,2
G (N/mm) UY=0,6 mm	44,2	42,6	43,7	3,7
G (N/mm) UY=0,8 mm	69,1	67,2	68,4	2,8
G (N/mm) UY=1,0 mm	94,7	92,6	93,8	2,1

4.4 Remarques

La valeur de G du modèle Aster est inférieure à celle de la référence.

L'écart est d'environ 10% pour l'ensemble des couronnes. La stabilité entre les couronnes est satisfaisante.

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

5 Synthèse des résultats

On rappelle que la solution de référence n'est pas une solution exacte et qu'elle ne s'applique pas, en général, dans le cas des bi-matériaux. Par ailleurs, les calculs sont menés en élasticité non linéaire sur une fissure ; en toute rigueur, il conviendrait de faire les calculs en élastoplasticité sur une entaille.

La modélisation A (degré 1) donne des résultats conformes à ceux de la référence.

La modélisation B (degré 2) fait apparaître un écart d'environ 8% sur la valeur de G.

On peut remarquer que les couronnes éloignées de la fissure fournissent des résultats plus précis et plus stables que ceux proches du fond de fissure.

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