

**Manuel de Validation****Fascicule V6.03 : Statique non linéaire des systèmes plans****Document V6.03.312**

# **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.

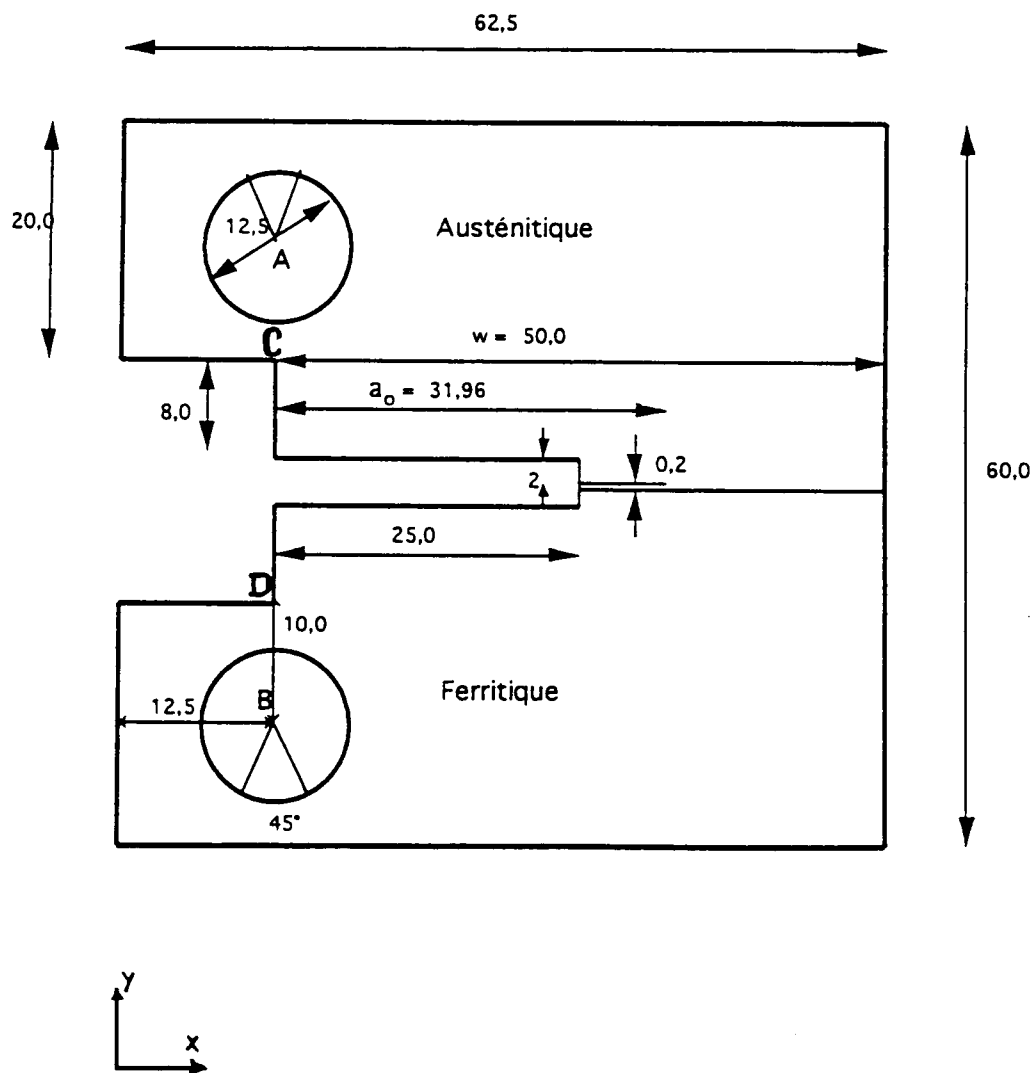
La structure a un comportement élastoplastique de Von Mises à écrouissage isotrope.

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

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

## 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.

## 1.2 Propriétés des matériaux

### Matériau n° 1 : acier austénitique

Elastoplastique de type von Mises à écrouissage isotrope  
Module d'Young  $E_1 = 2 \cdot 10^5$  MPa, coefficient de Poisson  $\nu_1 = 0,3$   
Limite élastique  $\sigma_{y1} = 310$  MPa  
Courbe de traction uniaxiale:

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

### Matériau n° 2 : acier ferritique

Elastoplastique de type von Mises à écrouissage isotrope  
Module d'Young  $E_2 = 2 \cdot 10^5$  MPa, coefficient de Poisson  $\nu_2 = 0,3$   
Limite élastique  $\sigma_{y2} = 442$  MPa

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

### Matériau n° 3 : goupilles quasi indéformables

Elastique linéaire isotrope  
Module d'Young  $E_3 = 6 \cdot 10^{10}$  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.

## 2 Solution de référence

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

Calcul par éléments finis avec CASTEM2000 et la méthode theta.

### 2.2 Résultats de référence

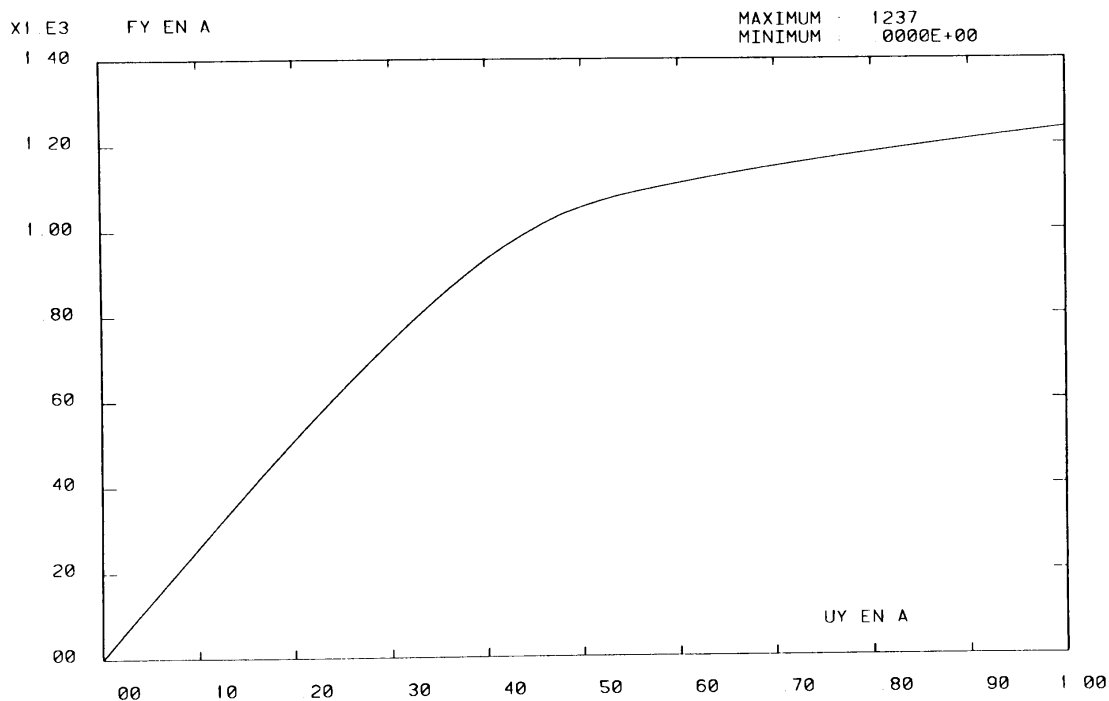


Fig.7 Fy au point A en fonction de Uy au point A

Courbe de réponse force-déplacement au point A

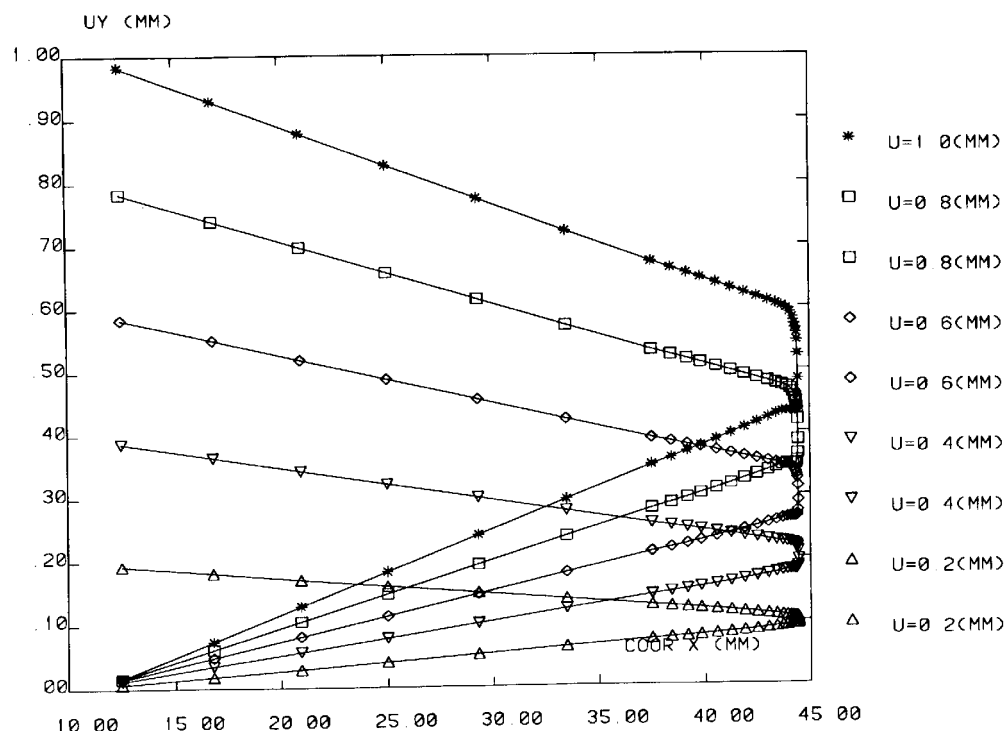


Fig.10 Déplacements des deux lèvres de la fissure au cours du chargement

Déplacement vertical des deux lèvres de la fissure

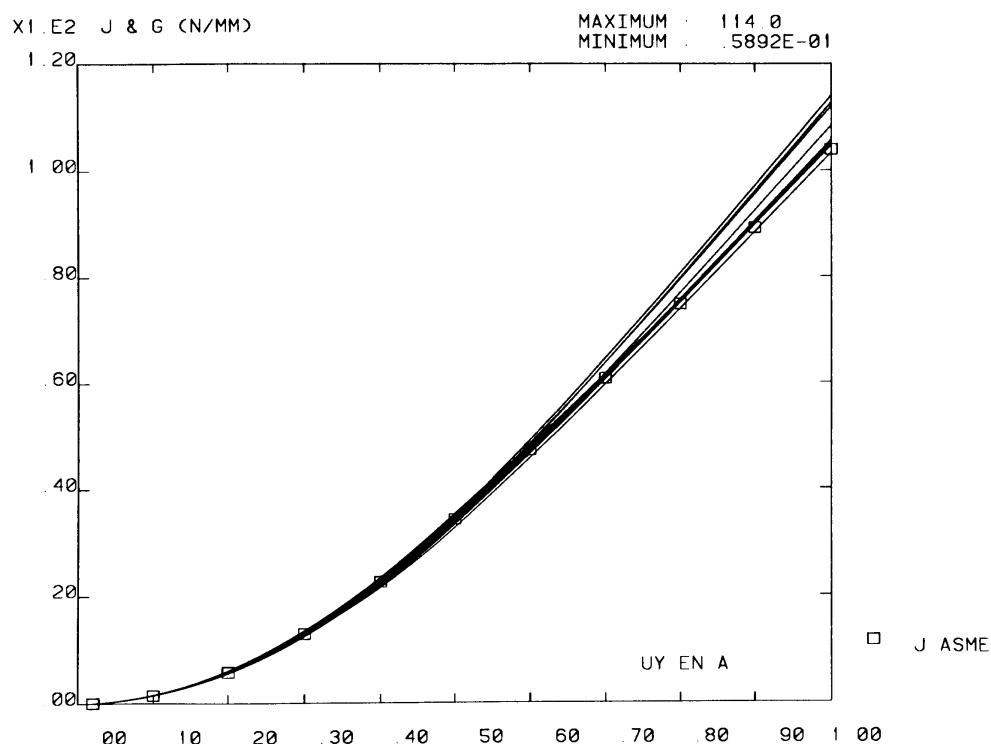


Fig.11 G et J<sub>ASTM</sub> en fonction du déplacement imposé et suivant les 13 courbes du vecteur θ

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

**Formule semi-empirique de l'ASTM [bib2]**

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

**2.3 Incertitude sur la solution**

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.

**2.4 Références bibliographiques**

- [1] 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
- [2] 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.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

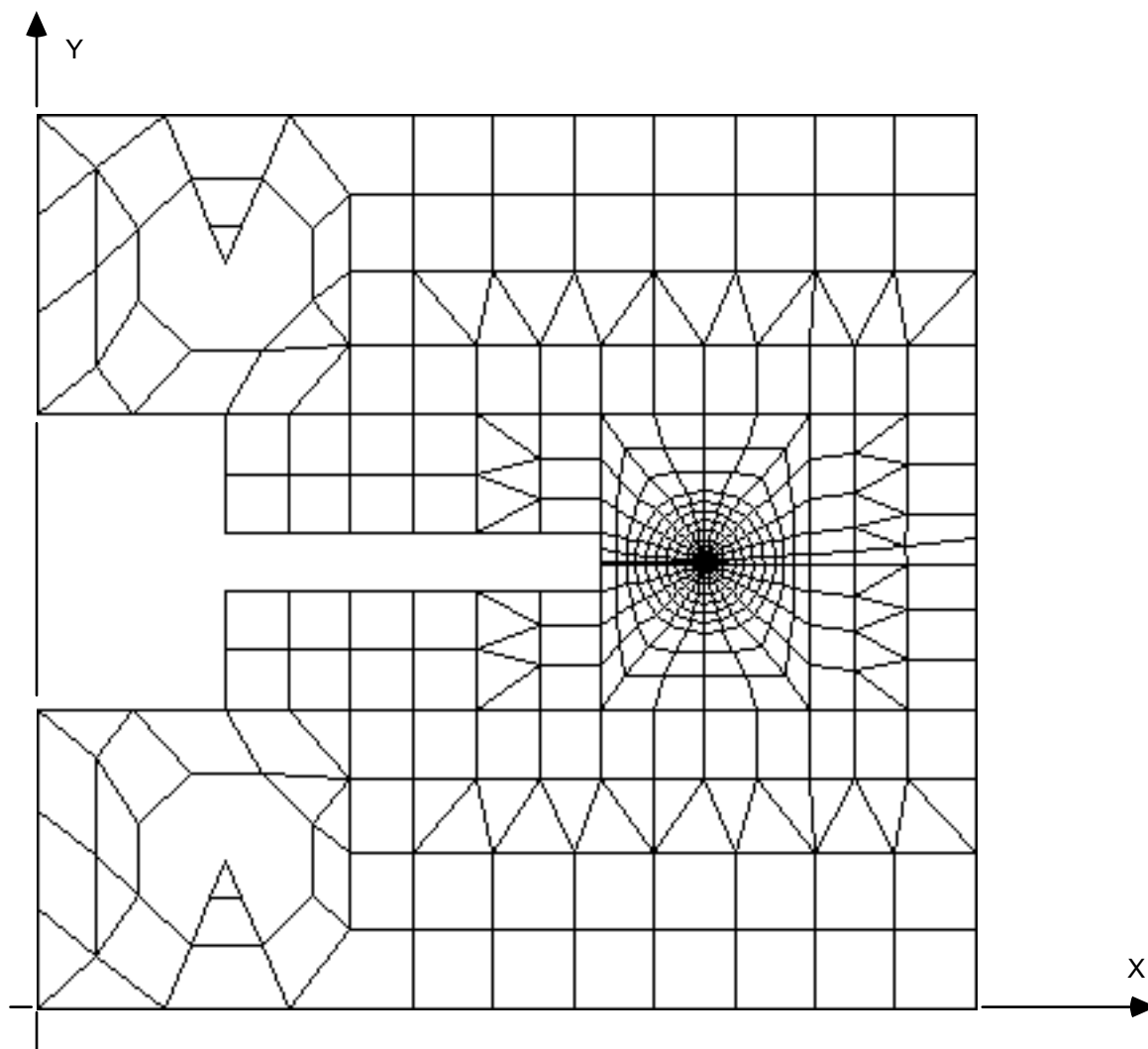
La totalité de l'éprouvette est maillée en éléments quadrangulaires à 4 noeuds ou triangulaires à 3 noeuds.

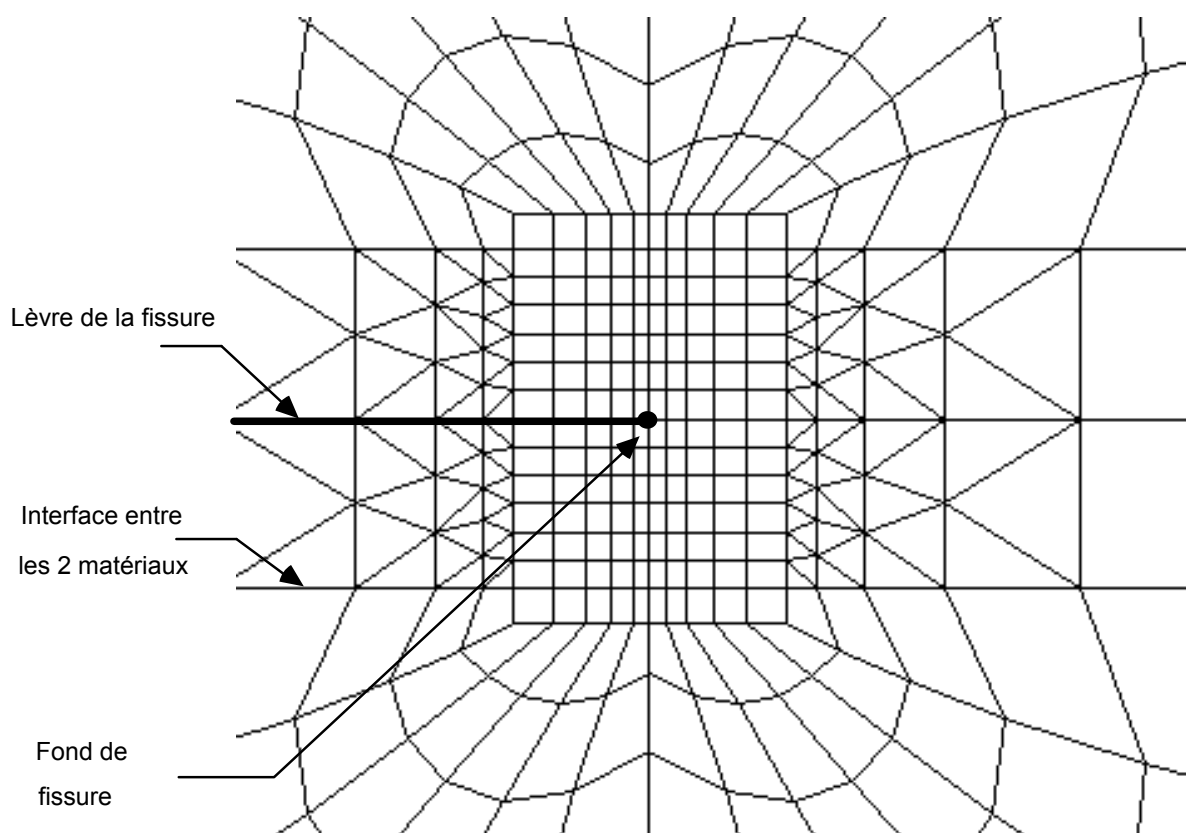
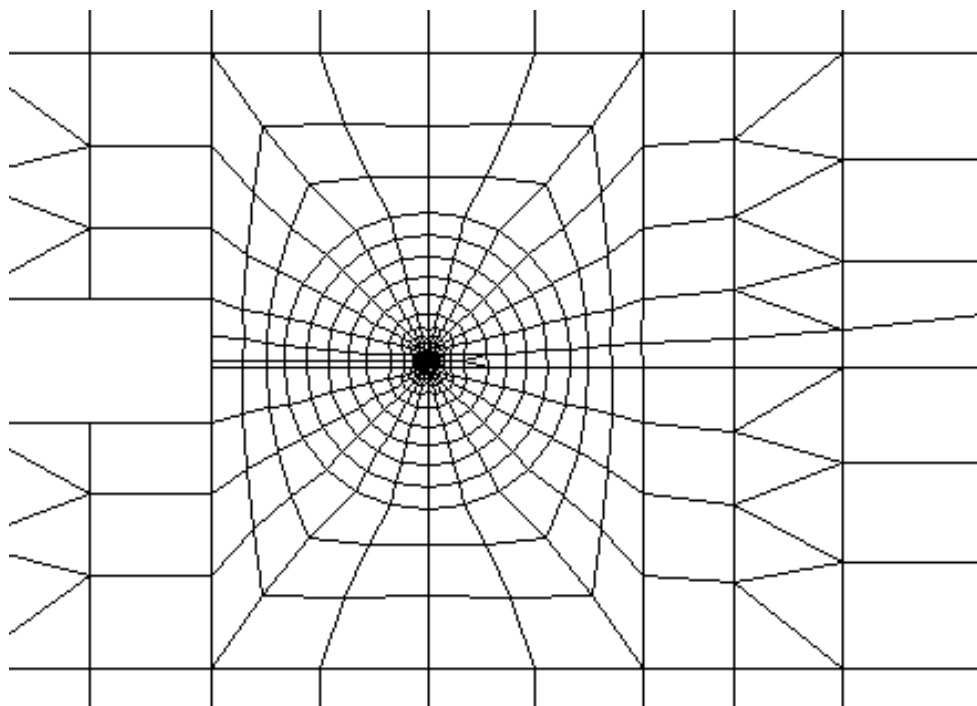
Elle comporte 799 noeuds, 624 quadrangles, 185 triangles et 261 segments.

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Eléments 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.







### 3.3 Fonctionnalités testées

Calcul du taux de restitution d'énergie G par la méthode THETA pour différentes couronnes.

#### Commandes

STAT_NON_LINE	COMP_INCR NEWTON	VMIS_ISOT_TRAC TANGENTE
DEFI_FOND_FISS	FOND NORMALE	GROUP_NO
CALC_THETA	THETA_2D	GROUP_NO
CALC_G_THETA_T	COMP_ELAS	ELAS_VMIS_TRAC

## 4 Résultats de la modélisation A

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

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

### 4.1 Valeurs testées

Identification	Référence J ASTM	Aster	% différence
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,2 mm	5,82	5,76	-1,02
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,4 mm	22,60	21,97	-2,80
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,6 mm	47,24	48,32	2,291
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,8 mm	74,70	79,03	5,786
G (N/mm) Couronne n°0 UY=1,0 mm	103,74	111,3	7,305
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,2 mm	5,82	6,10	4,82
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,4 mm	22,60	22,79	0,84
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,6 mm	47,24	46,51	-1,54
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,8 mm	74,70	72,88	-2,44
G (N/mm) Couronne n°1 UY=1,0 mm	103,74	100,4	-3,202
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,2 mm	5,82	6,07	4,28
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,4 mm	22,60	23,43	3,69
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,6 mm	47,24	47,97	1,54
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,8 mm	74,70	74,95	0,32
G (N/mm) Couronne n°2 UY=1,0 mm	103,74	103,44	-0,28

Identification	Référence J ASTM	Aster	% différence
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,2 mm	5,82	6,08	4,39
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,4 mm	22,60	23,46	3,82
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,6 mm	47,24	48,37	2,40
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,8 mm	74,70	75,56	1,14
G (N/mm) Couronne n°3 UY=1,0 mm	103,74	104,35	0,59
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,2 mm	5,82	6,09	4,52
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,4 mm	22,60	23,42	3,63
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,6 mm	47,24	48,43	2,53
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,8 mm	74,70	75,69	1,32
G (N/mm) Couronne n°4 UY=1,0 mm	103,74	104,53	0,77

## Stabilité de G au choix des couronnes

Identification	Couronne 2	Couronne 3	Couronne 4	% écart maxi.
G (N/mm) UY=0,2 mm	6,07	6,08	6,08	0,16
G (N/mm) UY=0,4 mm	23,43	23,46	23,42	0,17
G (N/mm) UY=0,6 mm	47,97	48,37	48,43	0,85
G (N/mm) UY=0,8 mm	74,95	75,56	75,69	0,53
G (N/mm) UY=1,0 mm	103,44	104,35	104,53	0,60

## 4.2 Remarques

Le calcul de référence (Castem 2000) et le calcul Aster utilisent strictement le même maillage.

La valeur absolue de l'écart sur le calcul de G pour les couronnes 0 et 1 croît en fonction du déplacement pour atteindre une valeur d'environ 5%.

Pour les autres couronnes, l'écart diminue 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 1%.

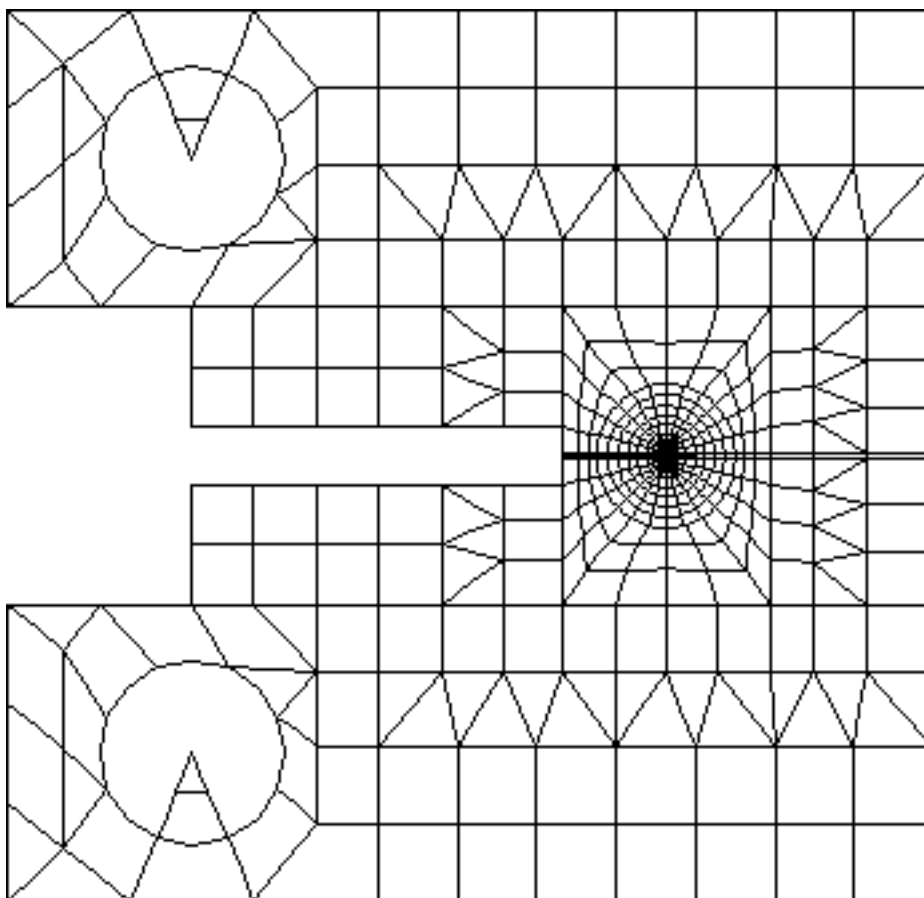
## 5 Modélisation B

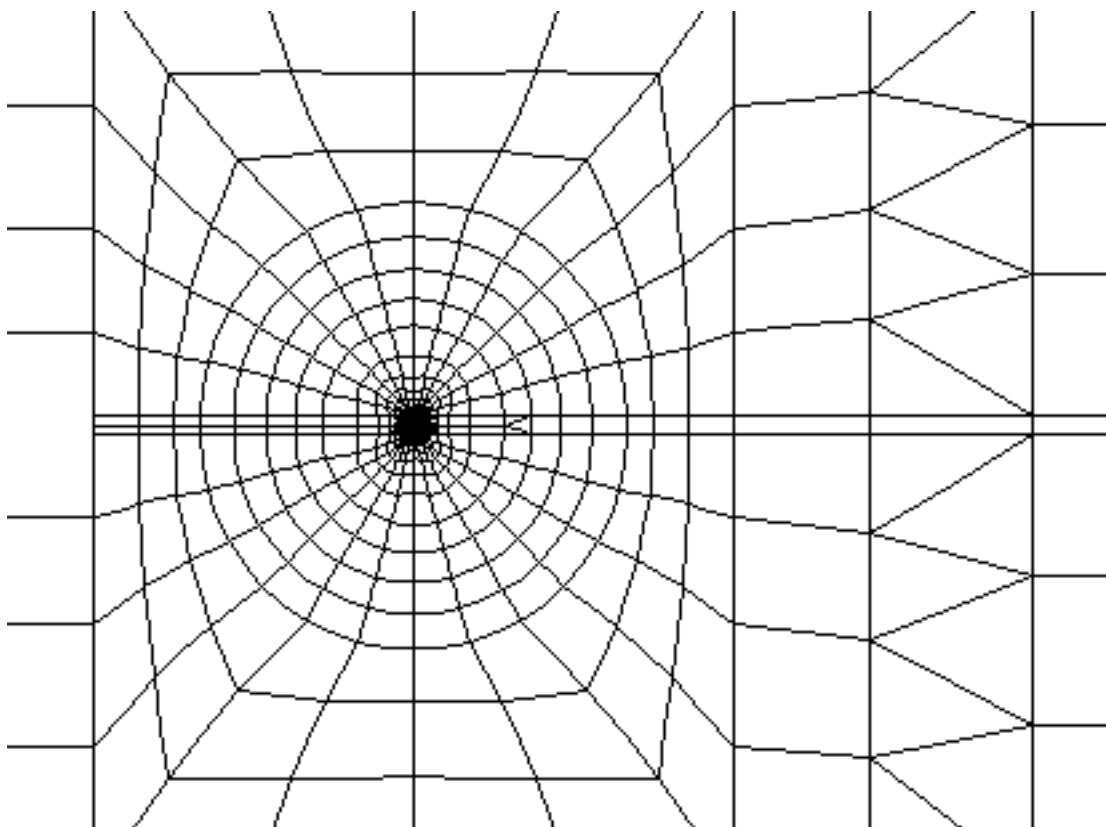
### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

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.

### 5.2 Caractéristiques du maillage





## 5.3 Fonctionnalités testées

Calcul du taux de restitution d'énergie G par la méthode THETA pour différentes couronnes.

### Commandes

STAT_NON_LINE	COMP_INCR NEWTON	VMIS_ISOT_TRAC TANGENTE
DEFI_FOND_FISS	FOND NORMALE	GROUP_NO
CALC_THETA	THETA_2D	GROUP_NO
CALC_G_THETA_T	COMP_ELAS	ELAS_VMIS_TRAC

## 6 Résultats de la modélisation B

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

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

### 6.1 Valeurs testées

Identification	Référence J ASTM	Aster	% différence
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,2 mm	5,82	6,0	3,18
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,4 mm	22,60	21,63	-4,29
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,6 mm	47,24	46,14	-2,32
G (N/mm) Couronne n°0 UY=0,8 mm	74,70	73,06	-2,20
G (N/mm) Couronne n°0 UY=1,0 mm	103,74	100,85	-2,782
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,2 mm	5,82	5,33	-8,43
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,4 mm	22,60	20,41	-9,71
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,6 mm	47,24	43,22	-8,52
G (N/mm) Couronne n°1 UY=0,8 mm	74,70	68,13	-8,80
G (N/mm) Couronne n°1 UY=1,0 mm	103,74	93,94	-7,34
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,2 mm	5,82	5,39	-7,35
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,4 mm	22,60	21,18	-6,29
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,6 mm	47,24	44,18	-6,48
G (N/mm) Couronne n°2 UY=0,8 mm	74,70	68,64	-8,11
G (N/mm) Couronne n°2 UY=1,0 mm	103,74	93,90	-9,48

Identification	Référence J ASTM	Aster	% différence
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,2 mm	5,82	5,27	-9,51
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,4 mm	22,60	20,31	-10,11
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,6 mm	47,24	42,81	-9,37
G (N/mm) Couronne n°3 UY=0,8 mm	74,70	67,19	-10,06
G (N/mm) Couronne n°3 UY=1,0 mm	103,74	92,35	-10,98
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,2 mm	5,82	5,36	-7,96
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,4 mm	22,60	20,82	-7,88
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,6 mm	47,24	43,95	-6,97
G (N/mm) Couronne n°4 UY=0,8 mm	74,70	68,53	-8,27
G (N/mm) Couronne n°4 UY=1,0 mm	103,74	93,84	-9,54

## Stabilité de G au choix des couronnes

Identification	Couronne 2	Couronne 3	Couronne 4	% écart maxi.
G (N/mm) UY=0,2 mm	5,39	5,27	5,36	2,27
G (N/mm) UY=0,4 mm	21,17	20,31	20,82	4,23
G (N/mm) UY=0,6 mm	44,18	42,81	43,95	3,20
G (N/mm) UY=0,8 mm	68,64	67,19	68,53	2,30
G (N/mm) UY=1,0 mm	93,90	92,34	93,84	1,86

## 6.2 Remarques

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

L'écart est d'environ 10% pour les couronnes 1 2 3 et 4. Pour la couronne 0, l'écart moyen est d'environ 3%.

## 7 Synthèse des résultats

---

Il faut dans un premier temps 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. De plus elle est basée sur un calcul des éléments linéaires. Elle est cependant exploitable pour cette étude car la fissure n'est pas située à l'interface des deux matériaux.

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. Les couronnes de petites dimensions donnent des résultats moins bons que celles dont les rayons sont importants. Par conséquent, il semble judicieux d'utiliser des couronnes de grandes dimensions pour une modélisation 2D.