

Manuel de Validation**Fascicule V7.02 : Thermo-mécanique stationnaire linéaire des systèmes plans****Document V7.02.310**

HPLP310 - Biblio_35 Fissure radiale interne dans un cylindre épais sous pression et chargement thermique

Résumé :

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

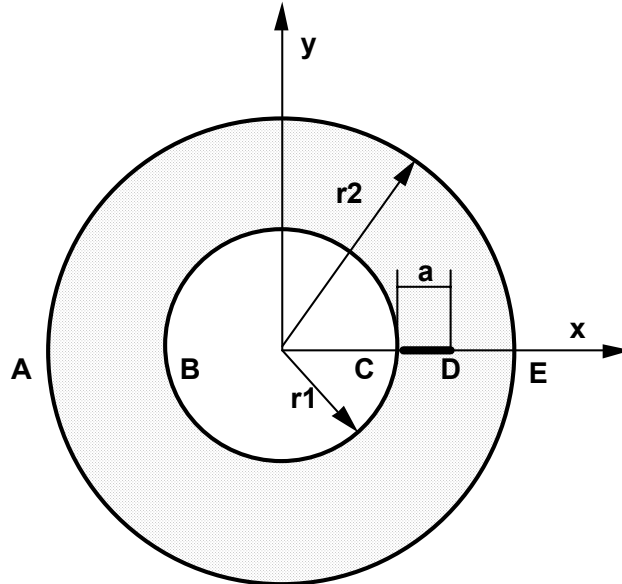
Il s'agit d'un test bidimensionnel en statique dans lequel on modélise la non linéarité de contact due à la refermeture partielle de la fissure.

Le comportement de la structure est thermoélastique linéaire isotrope.

Le cas test comprend une seule modélisation 2D plane pour laquelle on étudie l'influence du facteur de charge mécanique α .

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Section droite d'un tube épais présentant une fissure radiale interne

Rapport des rayons $b = r_2/r_1 = 2$ ($r_1 = 1$ mm, $r_2 = 2$ mm)

Profondeur de la fissure $a/(r_2 - r_1) = 0,05$

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est thermoélastique linéaire isotrope standard.

Module d'Young $E = 1000$ MPa

Coefficient de Poisson $\nu = 0,3$

Coefficient de dilatation linéaire $\alpha_T = 1E-6$

Limite élastique $\sigma_0 = 1$ MPa (servant à définir le champ de contraintes initial créé par le processus d'autofrettage dans l'hypothèse d'un comportement antérieur de type élastoplastique de Von Mises)

1.3 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites (pour une demi-pièce dans la région $y \geq 0$)

Blocage $U_Y = 0$ sur le segment AB et sur le ligament DE (symétrie).

Relation linéaire $U_X(A) + U_X(E) = 0$ (pour bloquer la translation horizontale)

Chargements

Chargement n° 1 : traction radiale $\sigma_{rr}(r_2) = \sigma_0$ sur la face externe; ce chargement mécanique produit le même K_I qu'une pression interne agissant simultanément sur le rayon interne r_1 et sur les lèvres de la fissure, sans prise en compte de la non linéarité de contact.

Chargement n° 2 : chargement thermique équivalent à un autofrettage défini comme suit :

$$T_1 = T_\rho + \frac{4\sigma_0}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2(1-\nu)}{E\alpha_T} \cdot \ln\left(\frac{\rho}{r_1}\right)$$

$$T = T_1 - \frac{(T_1 - T_\rho)}{\ln\left(\frac{\rho}{r_1}\right)} \cdot \ln\left(\frac{r}{r_1}\right) \quad r_1 \leq r \leq \rho$$

$$T = T_\rho \quad \rho \leq r \leq r_2$$

Dans ces formules, ρ désigne le rayon maximum de la zone ayant subi l'autofrettage, T_1 la température au rayon r_1 et T_ρ la température au rayon $r = \rho$ dans le tube épais non fissuré. Dans l'application visée ici, on prend $\rho = r_2$, ce qui correspond à l'autofrettage de la totalité de la section du tube épais, et on ne prend pas en compte la non linéarité de contact. On attend un K négatif pour des températures positives (mise en compression du tube non fissuré).

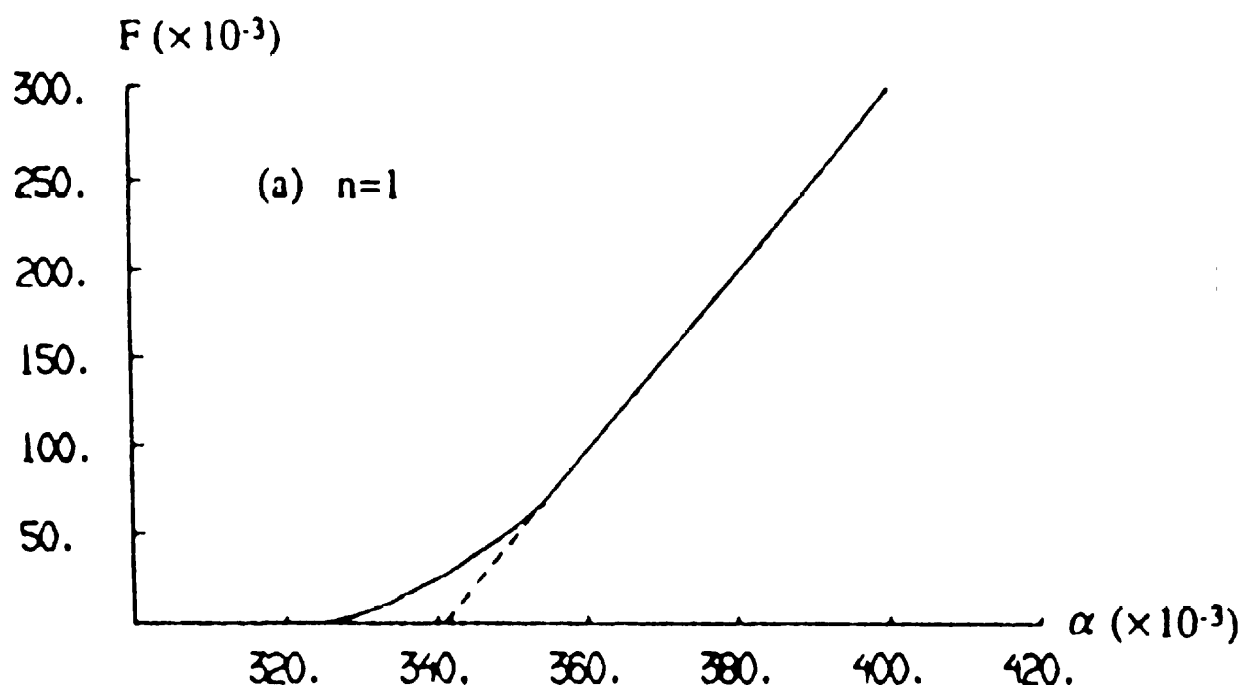
Chargement n° 3 : combinaison linéaire chargement n° 2 + α * chargement n° 1, α ($\neq \alpha_T$!) désignant le facteur de charge mécanique; on prend ici en compte la non linéarité de contact, ce qui suppose une application incrémentale de la charge mécanique.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Calcul par éléments finis avec le code ABAQUS. La non linéarité de contact est modélisée à l'aide d'éléments GAP unidirectionnels. Le facteur d'intensité des contraintes est calculé à partir de l'intégrale J.

2.2 Résultats de référence



Facteur d'intensité des contraintes adimensionnel en fonction du facteur de chargement mécanique, dans le cas de chargement n° 3

Notation : $F_L = K_{IL} / \sigma_0 \sqrt{a}$ facteur d'intensité adimensionnel linéaire (obtenu par combinaison linéaire des effets d'autofrettage et de chargement mécanique, en trait interrompu)

$F_N = K_{IN} / \sigma_0 \sqrt{a}$ facteur d'intensité adimensionnel non linéaire (obtenu en tenant compte de la non linéarité de contact, en trait plein).

$$K_I^2 = \frac{EJ}{(1 - \nu^2)}$$

Formule empirique du facteur d'intensité des contraintes sous tension radiale externe

$$W = r_2 - r_1$$

$$K_{I0} = P\sqrt{\pi a} \bullet \frac{\frac{C_1}{(\ln b)^{0,2}} + \frac{C_2}{\ln b}}{\sqrt{1 - 1/b}} \quad 0,01 \leq \frac{a}{W} < 0,8 \quad \text{et} \quad 1,5 \leq b \leq 3,0$$

$$C_1 = 2,397 - 2,705 \left(\frac{a}{W} \right)^{0,5} + 0,884 \left(\frac{a}{W} \right)^2$$

$$C_2 = -0,244 + 1,447 \left(\frac{a}{W} \right)^{0,5} + 0,809 \left(\frac{a}{W} \right)^2$$

Formule empirique du facteur d'intensité des contraintes en autofrettage en pleine section

$$K_{Ia} = \sigma_0 \sqrt{\pi a} \bullet \frac{C_1 + C_2 (\ln b)^{0,75}}{\left(1,8 + \frac{1}{b^4} \right)^2} \quad 0,01 \leq \frac{a}{W} < 0,8 \quad \text{et} \quad 1,5 \leq b \leq 3,0$$

$$C_1 = \frac{\left(30,221 - 57,714 \left(\frac{a}{W} \right)^{0,05} + 29,954 \left(\frac{a}{W} \right)^{0,15} - 2,444 \left(\frac{a}{W} \right)^{1,5} \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{W} \right)^{0,25}}}$$

$$C_2 = \frac{\left(-51,522 + 111,027 \left(\frac{a}{W} \right)^{0,05} - 63,244 \left(\frac{a}{W} \right)^{0,15} + 3,631 \left(\frac{a}{W} \right)^{1,5} \right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{a}{W} \right)^{0,25}}}$$

2.3 Références bibliographiques

- [1] H.M. SHU , J. PETIT et G. BEZINE : Stress intensity factors for radial cracks in thick walled cylinders. I. Symmetrical cracks II. Combination of autofrettage and internal pressure. Engng.Fract.Mechs., 49, n°4, 611-629, 1994.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

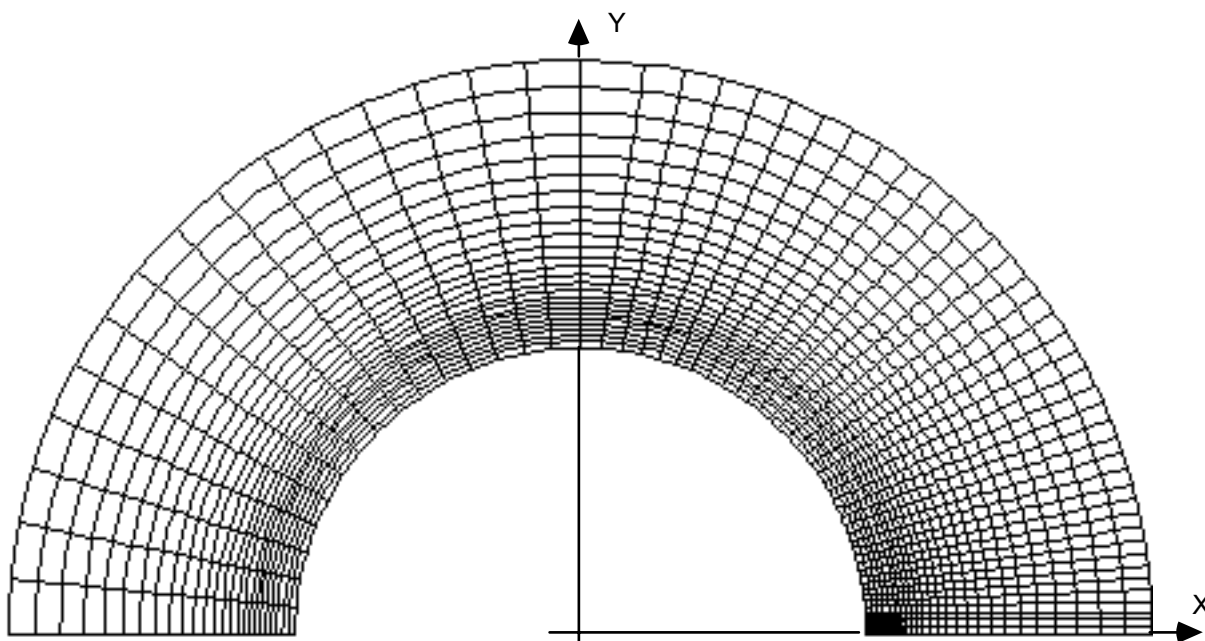
Le modèle est constitué de quadrangles à 8 nœuds et de triangles à 6 nœuds.
Il comporte 4877 nœuds et 1598 éléments.

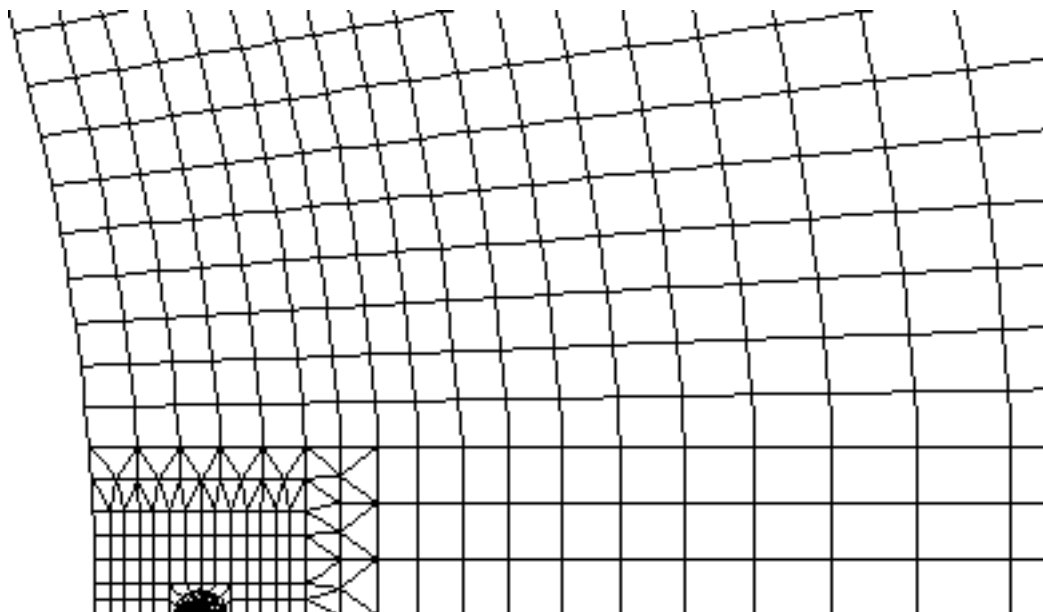
3.2 Caractéristiques du maillage

Utilisation de la procédure FISS2D_V1.

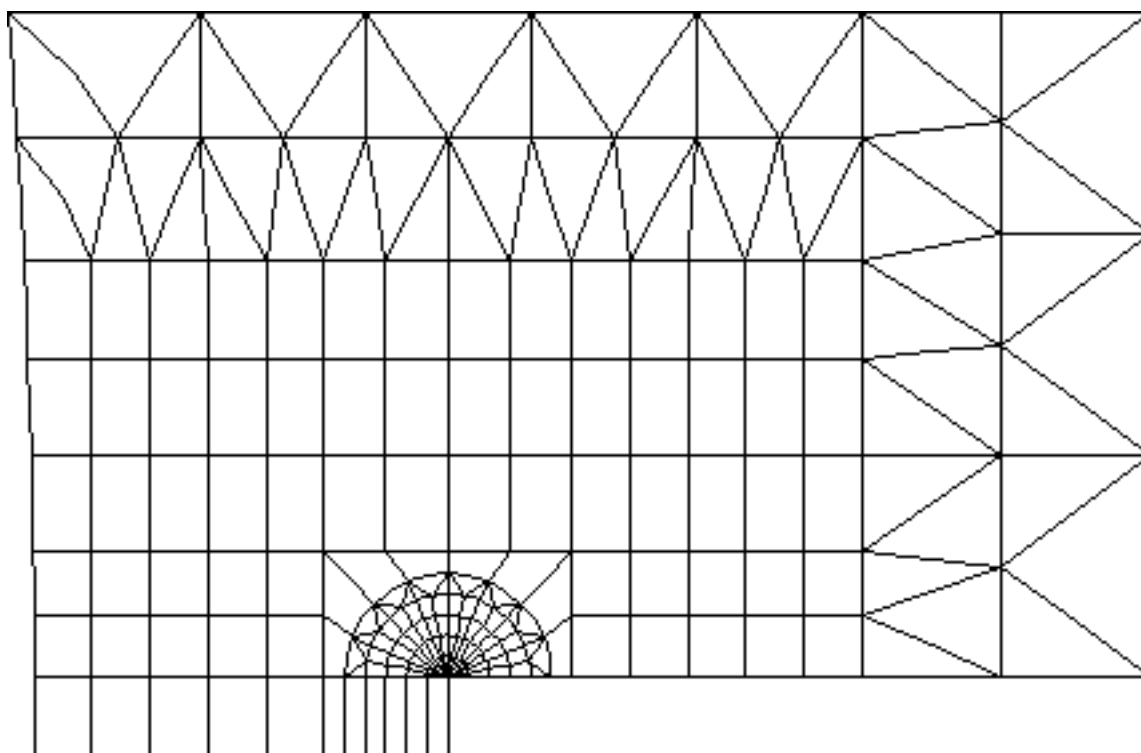
Les paramètres topologiques concernant le raffinement autour du fond de fissure sont :

- $nc = 4$ (nombre de couronnes)
- $ns = 8$ (nombre de secteurs)
- $nbcour = 1$ (nombre de couronnes de déraffinement)





Zoom de la zone fissurée



Zoom de la zone fissurée avec "bloc de contact"

3.3 Fonctionnalités testées

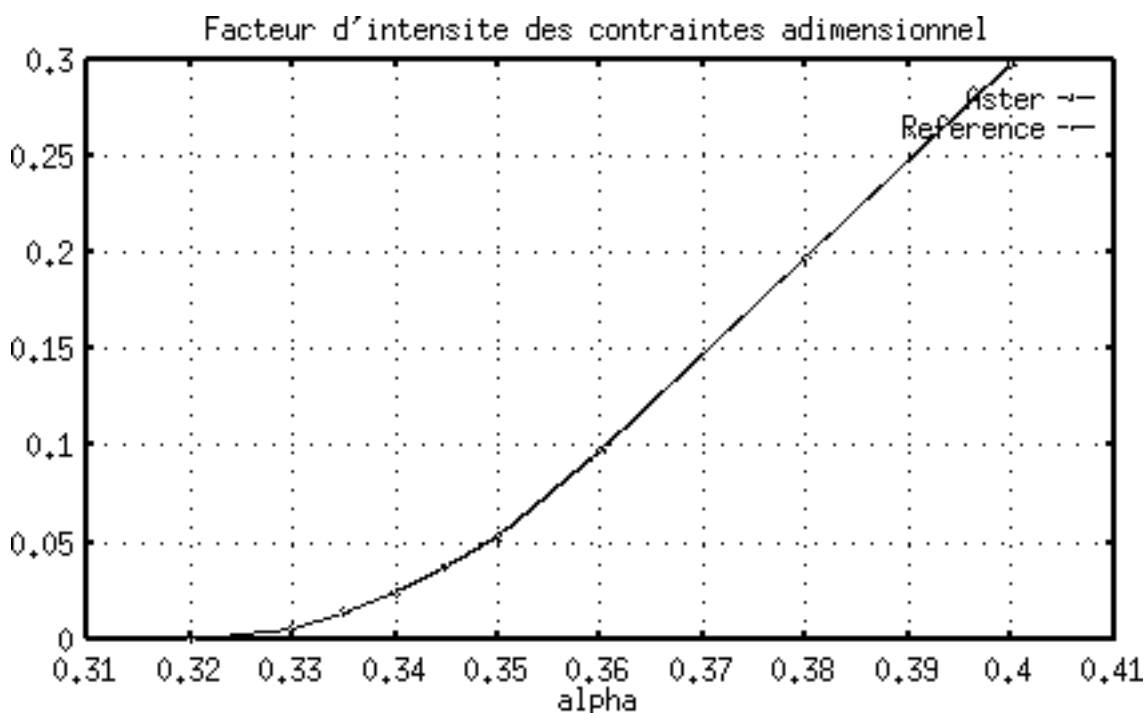
Le taux de restitution d'énergie G est calculé par la méthode THETA pour les 4 couronnes suivantes :

- Couronne 0 : $R_{inf} = 0,0025 \text{ mm}$ $R_{sup} = 0,005 \text{ mm}$
- Couronne 1 : $R_{inf} = 0,005 \text{ mm}$ $R_{sup} = 0,0075 \text{ mm}$
- Couronne 2 : $R_{inf} = 0,0075 \text{ mm}$ $R_{sup} = 0,01 \text{ mm}$
- Couronne 3 : $R_{inf} = 0,005 \text{ mm}$ $R_{sup} = 0,03 \text{ mm}$

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	CONTACT	NORMALE
STAT_NON_LINE	COMP_ELAS NEWTON	ELAS ELASTIQUE
DEFI_FOND_FISS	FOND NORMALE	GROUP_NO
CALC_THETA	THETA_2D	GROUP_NO
CALC_G_THETA_T	SYME_CHAR OPTION	SYME CALC_K_G

4 Résultats de la modélisation A



4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
K _I , chargement n°1, couronne 0, contact négligé	1,1482	1,12884	-1,69
K _I , chargement n°1, couronne 1, contact négligé	1,1482	1,12883	-1,69
K _I , chargement n°1, couronne 2, contact négligé	1,1482	1,12886	-1,69
K _I , chargement n°1, couronne 3, contact négligé	1,1482	1,12885	-1,69

Identification	Référence	Aster	% différence
K _I , chargement n°2, couronne 0, contact négligé	-0,41237	-0,3847839	-6,69
K _I , chargement n°2, couronne 1, contact négligé	-0,41237	-0,3878	-6,69
K _I , chargement n°2, couronne 2, contact négligé	-0,41237	-0,3847897	-6,69
K _I , chargement n°2, couronne 3, contact négligé	-0,41237	-0,384786	-6,69

Identification	Référence	Aster	% différence
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,33$, couronne 0	1,2075E-3	1,2688 10 ⁻³	5,078
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,335$, couronne 0	3,0187E-3	3,0589E-3	1,332
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,34$, couronne 0	5,4336E-3	5,4177E-3	-0,293
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,345$, couronne 0	8,5865E-3	8,2570E-3	-3,837
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,35$, couronne 0	1,2075E-2	1,1620E-2	-3,767
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,36$, couronne 0	2,1757E-2	2,15976E-2	-0,73
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,40$, couronne 0	6,6478E-2	6,67511E-2	0,41

Titre : HPLP310 - Biblio_35 Fissure radiale interne dans un cylindre épais Date : 22/11/02
Auteur(s) : S. GRANET, I. CORMEAU, B. KURTH Clé : V7.02.310-A Page : 10/12

Identification	Référence	Aster	% différence
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,33$, couronne 1	1,2075E-3	1,19085E-3	-1,19
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,335$, couronne 1	3,0187E-3	3,03577E-3	0,565
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,34$, couronne 1	5,4336E-3	5,4136E-3	0,368
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,345$, couronne 1	8,5865E-3	8,2570E-3	-3,838
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,35$, couronne 1	1,2075E-2	1,1621E-2	-3,761
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,36$, couronne 1	2,1757E-2	2,15975E-2	-0,73
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,40$, couronne 1	6,6478E-2	6,67506E-2	0,41

Identification	Référence	Aster	% différence
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,33$, couronne 2	1,2075E-3	1,1604E-3	-3,902
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,335$, couronne 2	3,0187E-3	3,03287E-3	0,469
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,34$, couronne 2	5,4336E-3	5,4131E-3	-0,376
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,345$, couronne 2	8,5865E-3	8,2572E-3	-3,635
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,35$, couronne 2	1,2075E-2	1,1621E-2	-3,76
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,36$, couronne 2	2,1757E-2	2,1598E-2	-0,73
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,40$, couronne 2	6,6478E-2	6,67529E-2	0,41

Identification	Référence	Aster	% différence
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,335$, couronne 3	3,0187E-3	2,7419E-3	-9,169
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,34$, couronne 3	5,4336E-3	5,4252E-3	-0,154
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,345$, couronne 3	8,5865E-3	8,2570E-3	-3,837
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,35$, couronne 3	1,2075E-3	1,1614E-2	-3,81
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,36$, couronne 3	2,1757E-2	2,1598E-2	0,73
K _I , chargement n°3, contact, $\alpha = 0,40$, couronne 3	6,6478E-2	6,67525E-2	0,41

Identification	Référence	Aster	% différence
α_0	0,3410	0,3410	0

4.2 Remarques

Les tableaux ci-dessous donnent le taux de restitution d'énergie G pour deux valeurs du coefficient α qui correspondent au non décollement de la lèvres de la fissure. (Il y a décollement de la lèvres pour $\alpha > 0,32$).

Identification	Référence	G ASTER
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,30$, couronne 0	0	$-8,7941 \cdot 10^{-16}$
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,30$, couronne 1	0	$4,4308 \cdot 10^{-15}$
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,30$, couronne 2	0	$3,3312 \cdot 10^{-15}$
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,30$, couronne 3	0	$4,4794 \cdot 10^{-13}$

Identification	Référence	G ASTER
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,32$, couronne 0	0	$-1,17E-14$
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,32$, couronne 1	0	$-3,26E-16$
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,32$, couronne 2	0	$-1,02E-15$
G, chargement n°3, contact, $\alpha= 0,32$, couronne 3	0	$4,23E-13$

4.3 Paramètres d'exécution

Version : 6.03

Machine : CRAY C90

Encombrement mémoire : 16 MW

Temps CPU User : 136 secondes

5 Synthèse des résultats

Le calcul de G est correct dans tous les cas, y compris pour une fissure complètement fermée.