HPLV103 - Calcul de K_I et de G thermo-élastique 3D pour une fissure circulaire

Résumé

Il s'agit d'un test de mécanique de la rupture en thermo-mécanique pour un problème tridimensionnel. On considère une fissure circulaire plongée dans un milieu thermo-élastique. On impose une température uniforme sur les lèvres de la fissure. Ce test permet de calculer le taux de restitution d'énergie G et le facteur d'intensité des contraintes K_I en différents points du fond de fissure.

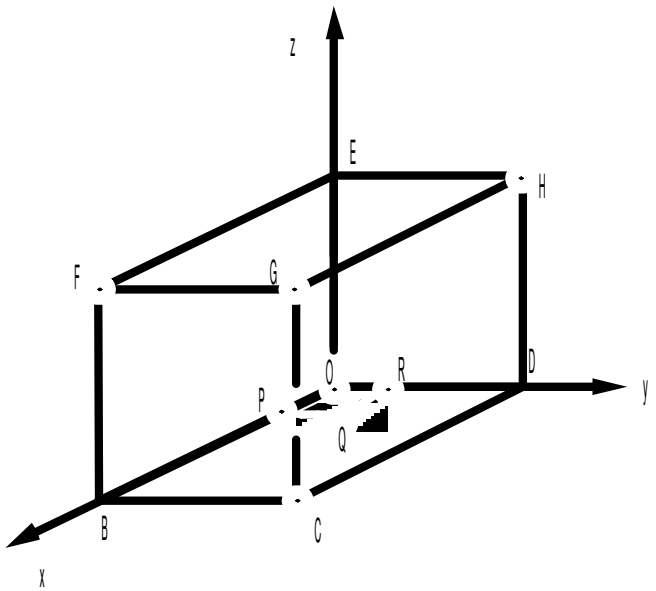
L'intérêt du test est l'invariance de G et de K_I selon différentes couronnes et la comparaison à une solution analytique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère une fissure circulaire plongée dans un milieu thermo-élastique. Compte tenu des symétries du problème, seul un huitième de la structure est représenté :



Les dimensions de la fissure sont les suivantes :

$$OP = \mathrm{OR} = 1.0$$

Le milieu est modélisé par un parallélépipède de dimensions :

$$OB = OD = OC = 30.0$$

1.2 Propriétés de matériaux

Conductivité thermique :	$\lambda = 1.$
Coefficient de dilatation thermique :	$\alpha = 10^{-6} / °C$
Module d'Young :	$E = 2.10^5\ MPa$
Coefficient de Poisson :	$\nu = 0.3$

1.3 Conditions aux limites et chargements

- Mécanique : déplacements imposés (DDL_IMPO) sur les groupes de mailles suivants :
  - $DX = 0$ sur $ODHE$;
  - $DY = 0$ sur $OEFB$;
  - $DZ = 0$ sur $PBCDRQ$ (i.e. face inférieure du parallélépipède, sans la lèvre de la fissure).

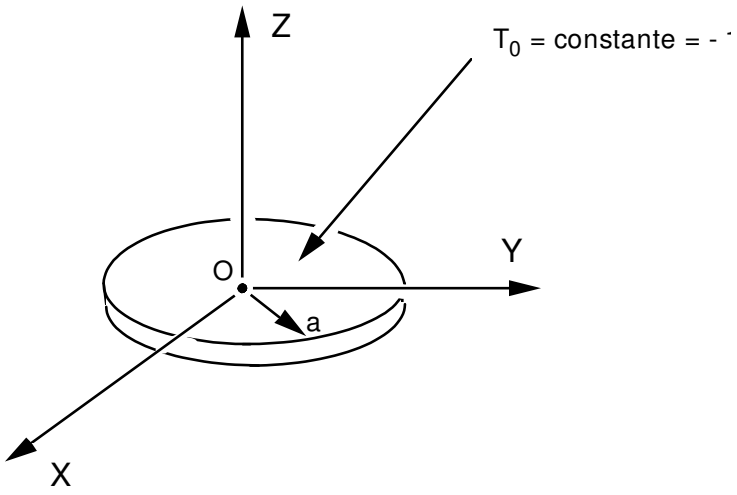
- Thermique : température imposée (TEMP_IMPO) sur les groupes de mailles suivants :
  - $TEMP = 0$ sur $BCGH$, $CDHG$ et $EFGH$ (faces extérieures du parallélépipède) ;
  - $TEMP = -1$ sur $OPQR$.

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 est issue du recueil de MURAKAMI [bib1] :



L'expression du taux de restitution de l'énergie est la suivante :

$$G = \frac{(1 - \nu^2)}{E} K_1^2 \text{ avec } K_1 = \frac{\alpha E}{\pi(1 - \nu)} |T_0| \sqrt{\pi a} F(\eta) \text{, avec } \eta = a/b \text{ et,}$$

$$F(\eta) = 1 - 0.6366\eta - 0.4053\eta^2 + 2.0163\eta^3 - 0.6773\eta^4 - 3.8523\eta^5 + 4.1687\eta^6 + 3.2741\eta^7 .$$

Remarque :

Pour $\eta = 0$ (milieu infini), la solution est exacte. Pour un milieu fini, l'incertitude sur la solution est inconnue. Dans ce test, $\eta = 1/30$.

2.2 Résultat de référence

Le résultat de référence est donc : $K_I = 157.73\,10^3\, Pa\, m^{1/2}$ et $G = 1.132\,10^{-1}\, J/m^2$

2.3 Références bibliographiques

1) Stress intensity factors Handbook (Y. MURAKAMI), case 11.39, pp. 1089-1090, the Society of Material Science, Japon, Pergamon Press, 1987.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'une modélisation tridimensionnelle. Le maillage a été réalisé à l'aide de la procédure GIBI de bloc fissuré $3D$ [bib1]. On n'a représenté que le huitième de la structure (et donc un quart du front de la fissure), le quart de ce front étant discrétisé en 16 secteurs.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est composé d'éléments quadratiques

Nombre de mailles et types : 624 PENTA15, 5600 HEXA20

3.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs testées sont celles du taux de restitution de l'énergie local aux points A et B à partir des différentes couronnes d'intégration et des deux méthodes de définition des champs θ :

Identification	Référence	% Tolérance
G **local discrétisation LEGENDRE (degré 5)**		
G Mini/Maxi 1	1.132 10 -1	2 %/2 %
G Mini/Maxi 2	1.132 10 -1	2 %/2 %
G Mini/Maxi 3	1.132 10 -1	3 %/2 %
G Mini/Maxi 4	1.132 10 -1	2 %/2 %
G Mini/Maxi 5	1.132 10 -1	2 %/2 %
G **local discrétisation LINEAIRE**		
G Mini/Maxi 1	1.132 10 -1	3 %/2 %
G Mini/Maxi 2	1.132 10 -1	3 %/1 %
G Mini/Maxi 3	1.132 10 -1	6 %/4 %
G Mini/Maxi 4	1.132 10 -1	4 %/2 %
G Mini/Maxi 5	1.132 10 -1	4 %/2 %
K **discrétisation LEGENDRE (degré 5)**		
K Mini/Maxi 1	1.5773 10 5	3 %/4 %
K Mini/Maxi 2	1.5773 10 5	6 %/7 %
K Mini/Maxi 3	1.5773 10 5	4 %/9 %
K Mini/Maxi 5	1.5773 10 5	4 %/9 %
K **discrétisation LINEAIRE**		
K Mini/Maxi 1	1.5773 10 5	1 %/8 %
K Mini/Maxi 2	1.5773 10 5	3 %/25 %
K Mini/Maxi 3	1.5773 10 5	7 %/34 %
K Mini/Maxi 5	1.5773 10 5	7 %/34 %

Couronne 1 : $Rinf = 0.07$ $\mathrm{Rsup} = 0.2$
Couronne 2 : $Rinf = 0.2$ $\mathrm{Rsup} = 0.4$
Couronne 3 : $Rinf = 0.4.$ $\mathrm{Rsup} = 0.6.$
Couronne 4 : $Rinf = 0.07$ $\mathrm{Rsup} = 0.6$
Couronne 5 : Rinf et Rsup sont déterminés automatiquement par CALC_G.
ù

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

Les supports du champ θ local correspondent aux trois premières couronnes du champ global.

3.4 Remarques

- La valeur de référence est la valeur du taux de restitution de l'énergie local : $G_{réf}=5.66\,10^{-8}\,J/m^2$.
- Les résultats du G local ne sont donnés que pour les points A et B respectivement situés sur un plan de symétrie et au milieu du front de fissure. Les résultats concernant le point B (milieu du front) font apparaître un écart d'environ 3% par rapport au résultat de référence. Les résultats concernant le point A sont moins bons (l'écart se situe entre 3% et 13.5%), ce qui est un constat habituel pour l'estimation du G local pour les points situés sur un plan de symétrie.

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

4 Synthèse des résultats

- La discrétisation LEGENDRE conduit, sur ce cas test, aux résultats les plus précis pour les valeurs locales de G. Pour le calcul des K locaux, on conseille le discrétisation LINEAIRE.
- La précision sur le calcul de K_I local est satisfaisante, l'écart moyen étant limité à 2.3%.

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