SSNV131 – Tuyau droit fissuré en élasto-plasticité sous chargement combiné

Résumé :

Le problème considéré est un tube droit fissuré avec défaut longitudinal semi-elliptique en peau interne. Le tube droit est soumis à un chargement combiné de pression et de moment de flexion. Ce test permet de calculer le taux de restitution d'énergie local en fond de fissure par la méthode G-thêta (commande CALC_G)Le taux de restitution d'énergie local est calculé suivant l'interpolation LINEAIRE. Les couronnes d'intégration sont définies par la donnée du nombre de couches (NB_COUCHE_INF et NB_COUCHE_SUP).

La valeur de G en fond de fissure est comparée à une note utilisée pour la validation des méthodes simplifiées en mécanique de la rupture.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Il s'agit d'une fissure longitudinal semi-elliptique débouchant en peu interne plongée dans un tuyau droit. Les plans de symétries sont utilisés afin de ne modéliser qu'un quart du tuyau.

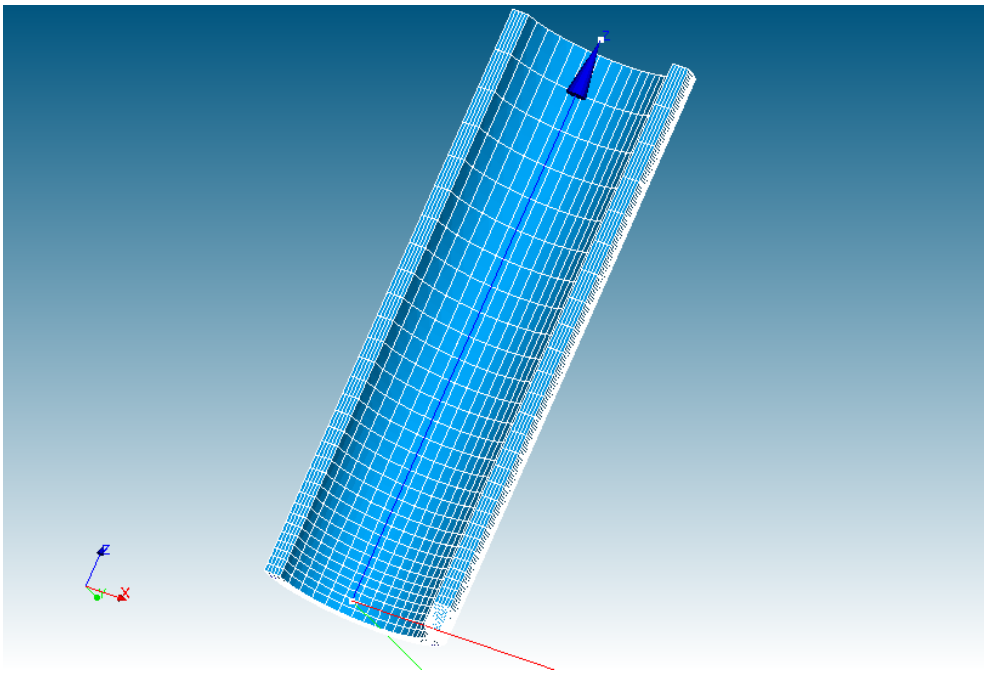


Figure 1.1-1: Géométrie du tube

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

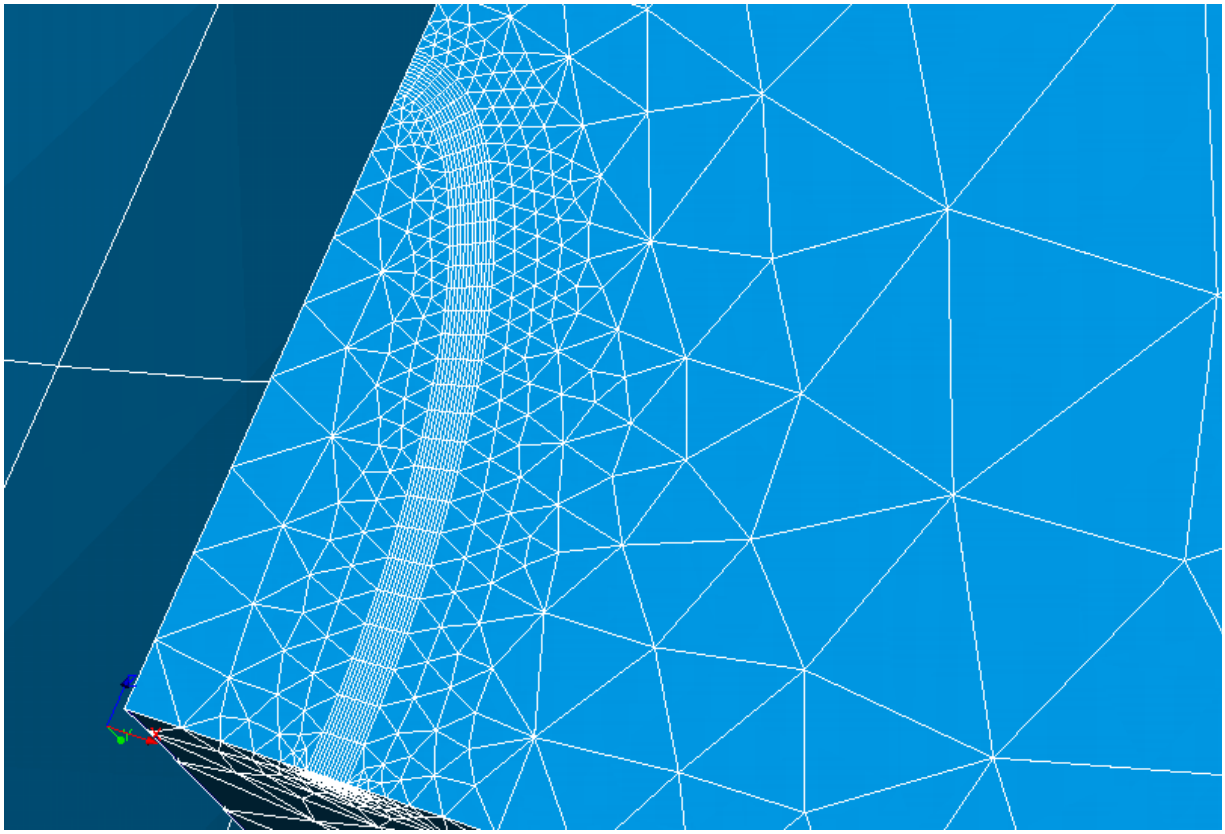


Figure 1.1-2: Géométrie du défaut

Le tube a pour longueur 2 000 mm, pour épaisseur 60 mm, et pour rayon interne 270 mm.
Le défaut est de profondeur 7.5 mm et de longueur 22.5 mm.

1.2 Propriétés matériaux

Une courbe rationnelle de traction du type Ramberg-Osgood est utilisée.

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_0}=\frac{\sigma}{\sigma_0}+\alpha.\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n \text{ , avec } \epsilon_0=\frac{\sigma_0}{E}$$

Où :

$n=6$

$\alpha=1$

$\sigma_0=163\ MPa$

$E=174\,700\ MPa$

$\nu=0.3$

La loi de comportement de matériau est élasto-plastique ('VMIS_ISOT_TRAC')
Ci-dessous sa courbe de traction.

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

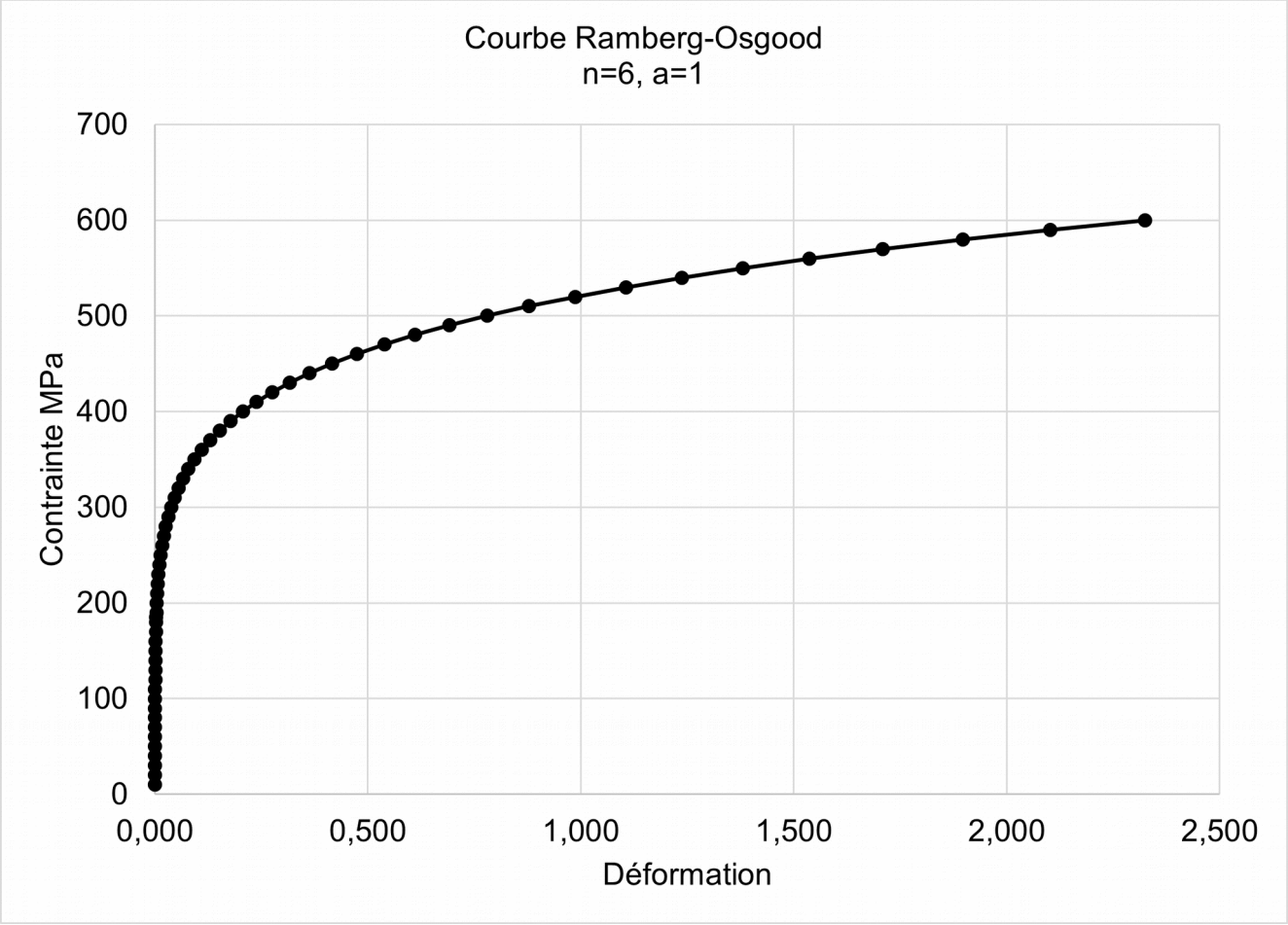


Figure 1.2-1: courbe traction de type Ramberg-Osgood n=6, a=1 fournit par [bib1].

1.3 Conditions aux limites et chargements

Symétrie par rapport aux 2 plans principaux :

$U_Y = 0.$ dans le plan $Y = 0$.

$U_Z = 0.$ dans le plan $Z = 0.$ hors de la fissure

Mode rigide sur l'axe X .

U_X moyenne dans les nœuds NODE_CENTRE_FISS_T et NODE_CENTRE_FISS_TM est nulle.

Les conditions de chargements sont appliquées en deux étapes:

1) Une charge de pression P est appliqué de manière progressive sur la paroi interne de tuyau.
Une charge de traction $\mathrm{EFFET_FOND}$ à l'extrémité du tuyau est également appliqué pour modéliser l'effet fond.

$$\mathrm{EFFET_FOND} = P \frac{R_{\mathrm{int}}^2}{R_{\mathrm{ext}}^2 - R_{\mathrm{int}}^2}$$

Jusqu' avoir une pression maximale $P = 36.97\,MPa$

2) En restant avec une pression maximale appliquée sur le tuyau, un moment de flexion M suivante ($-Y$) sollicitant en ouverture le défaut semi-elliptique est appliqué de manière progressive jusqu'à $M = -5989.460\,kNm$.

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

Il est appliqué à l'extrémité du tube par l'intermédiaire d'une distribution linéaire suivant x de contraintes axiales σ_{zz}

$\sigma_{zz}=\frac{M\,x}{I}$ dans le plan $Z=2000\,mm$

où I est le moment quadratique de flexion. $I=\pi\frac{\left(R_{\text{ext}}^4-R_{\text{int}}^4\right)}{4}$

Ci-dessous une figure avec le chemin de chargement de tuyau donné par [bib1].

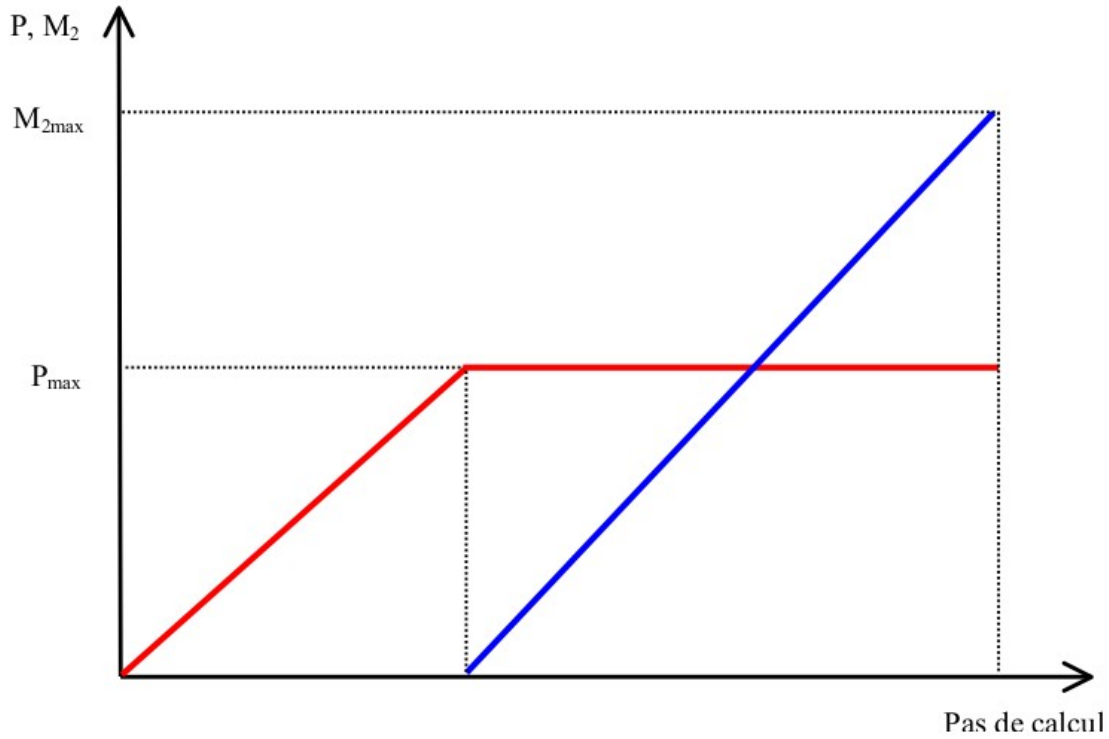


Figure 1.3-1: chemin de chargement fourni par [bib1].

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 une solution numérique issue d'une note de validation des méthodes simplifiées en mécanique de la rupture [bib1]. Les résultats de la note de référence ont été obtenus avec la version 6.06 de code_aster.

[bib1] donne la valeur de J_{fond} pour différents niveaux de chargements M et P.

Les résultats sont affichés dans le tableau suivant:

$P(MPa)$	$M(kN.m)$	$J_{\text{fond}}(kJ/m^2)$
36.97	-5989.46	$2.71\ 10^2$

Où :
$J_{\text{fond}}(kJ/m^2)$ est la valeur de l'intégrale J en fond de fissure.

2.2 Bibliographie

1) P. LE DELLIOU : Code RSE-M : calculs aux éléments finis de tuyaux droits avec défauts longitudinaux semi-elliptiques chargés en pression plus moment. EDF R&D. 2005. 1998.

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

3 Modélisation

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Loi de comportement élasto-plastique ('VMIS_ISOT_TRAC')

Chargement :

Pression P sur la paroi interne et l'effet de fond correspondant.

$$P = 36.97\,MPa$$

Moment de flexion suivant ($-Y$) répartie sur la face du tuyau supérieur.

$M = -5989.46\,kNm$ où M est le moment sur l'axe Y .

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53794

Nombre de mailles et types :

3D_SI : 8605 TETRA10 et 8425 HEXA20

3D : 240 PENTA15, 29 0 PYRAM13

3.3 Grandeurs testées et résultats

La valeur testée est le taux de restitution d'énergie locale J_{fond} sur le nœud en fond de fissure. (option G de CALC_G). Cette valeur est testée pour une couronne d'intégration définie par NB_COUCHE_INF=2 et NB_COUCHE_SUP=5.

Identification	Référence	Valeur calculée	% tolérance
$J_{\text{fond}}(KJ/m^2)$	271.0	272.147	1

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

4 Synthèse des résultats

Pour ce test, il y un écart inférieur à 1% par rapport à la solution de référence.
Cet écart est considéré comme acceptable.

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