

SSNP131 – Identification du paramètre énergétique G_p en 2D et en 3D

Résumé

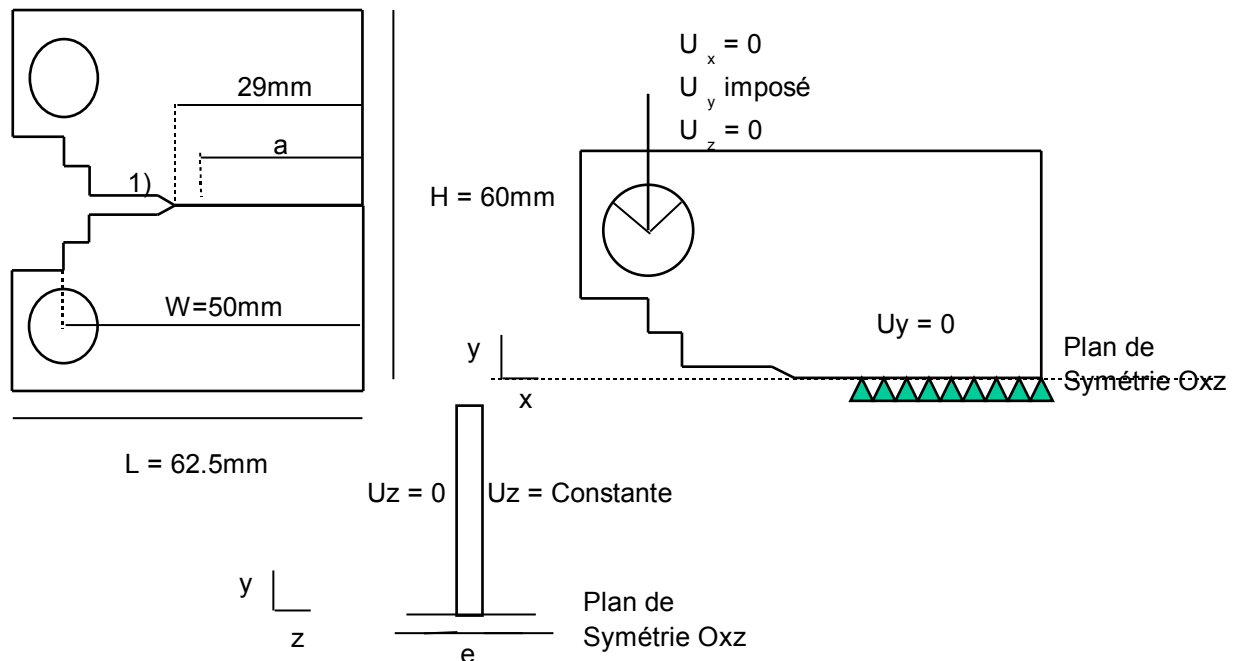
Ce test de mécanique quasi-statique non linéaire permet de présenter le calcul du paramètre G_p issu de l'approche énergétique de la rupture élastoplastique et l'identification des valeurs critiques correspondant à des valeurs de ténacité expérimentale données. Il nécessite de représenter la fissure par une entaille et de mailler finement le voisinage du fond d'entaille. Il nécessite également de calculer l'énergie élastique sur la zone de propagation virtuelle de l'entaille, découpée en « copeaux ».

La modélisation A est réalisée avec des éléments 2D quadratiques, en déformation plane. Le maillage représente les zones dites copeaux ; le calcul du paramètre est effectué en utilisant les propriétés du maillage (CALC_GP) ou par création automatique de ces zones (CALC_GP).

La modélisation B est identique à la modélisation A, mais utilise un maillage quelconque ; seule la définition automatique des copeaux est utilisée (CALC_GP).

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



On considère une éprouvette *CT25* avec une longueur de ligament : $a = 27.5\text{ mm}$ ($a/W = 0.55$). Suivant l'axe z , l'épaisseur est $e = 1\text{ mm}$. L'éprouvette *CT25* est modélisée tout d'abord en déformations planes, puis en 3D. Par raison de symétrie, une moitié de celle-ci est représentée en 2D et un quart en 3D.

1.2 Propriétés de matériaux

Module d'Young : 214100 Mpa

Coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$. La courbe de traction utilisée est présentée dans le tableau suivant :

ϵ	σ (MPa)
0.003439678	740.6632663
0.004628373	842.148772
0.00607988	876.3117064
0.007654628	895.2063119
0.010417548	911.0718694
0.014178015	925.022448
0.017543214	935.2135771
0.021942493	945.6948965
0.027416704	960.732311
0.033866984	975.8041996
0.040205805	988.2450325
0.046616375	1000.143035
0.052903597	1010.004051
0.058235889	1017.5664

Tableau 1.1

1.3 Conditions aux limites et chargements

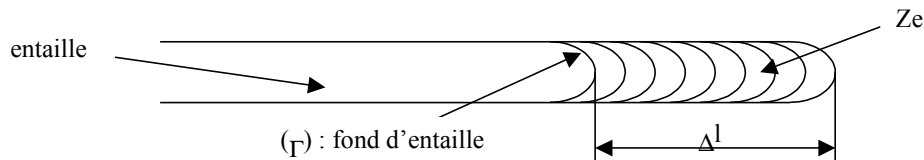
En 2D , le chargement est de type déplacement imposé en un point situé au centre de la goupille qui est modélisée par quatre secteurs angulaires indéformables. La moitié de l'éprouvette étant modélisée, une condition de symétrie est appliquée sur le ligament ($y=0$).

En 3D , le chargement est de type déplacement imposé sur les segments situés sur l'axe de la goupille qui est modélisée par quatre secteurs angulaires indéformables. Le quart de l'éprouvette étant modélisé, une condition de symétrie est appliquée sur la face correspondant au ligament ($y=0$), et une autre sur la face $z=0$.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence en 2D

On utilise la méthode énergétique de la rupture élastoplastique basée sur le paramètre Gp [1], [2]. Le fond d'entaille est formé d'un demi-cercle de rayon R . La zone Ze de longueur Δl correspond à la propagation virtuelle de l'entaille et est découpée en « copeaux ».



On y détermine à chaque instant l'évolution de la quantité $Gp(\Delta l)$ définie par :

$$Gp(\Delta l) = 2[W_{elas}(\Delta l)]/\Delta l$$

où $W_{elas}(\Delta l)$ est l'énergie élastique calculée sur la zone Ze . On doit ensuite calculer le maximum de cette quantité par rapport à Δl , que l'on appelle « Gp ».

$$Gp = \underset{\Delta l}{Max}\{Gp(\Delta l)\}$$

L'instant critique où s'amorcera la propagation du défaut est alors celui où la ténacité $Kj = Kj_{crit}$. On dit alors que Gp atteint la valeur critique « Gpc ».

2.2 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence en 3D

Le fond d'entaille est rectiligne. Le front correspondant est décrit par des tranches. Chaque tranche est constituée de copeaux. Cette zone correspond à la propagation virtuelle de l'entaille.

On détermine dans chaque copeau à chaque instant l'évolution de la quantité $Gp(\Delta S)$ définie par :

$$Gp(\Delta S) = 2[W_{elas}(\Delta S)]/\Delta S$$

où $W_{elas}(\Delta S)$ est l'énergie élastique calculée sur la zone cumulée de copeau selon une tranche et ΔS est la surface des copeaux cumulée du fond d'entaille au copeau concerné. Puis on calcule sur chaque tranche le maximum de cette quantité appelée « Gp » par rapport à ΔS .

$$(Gp)_{tranche i} = \underset{\Delta S}{Max}\{Gp(\Delta S)\}$$

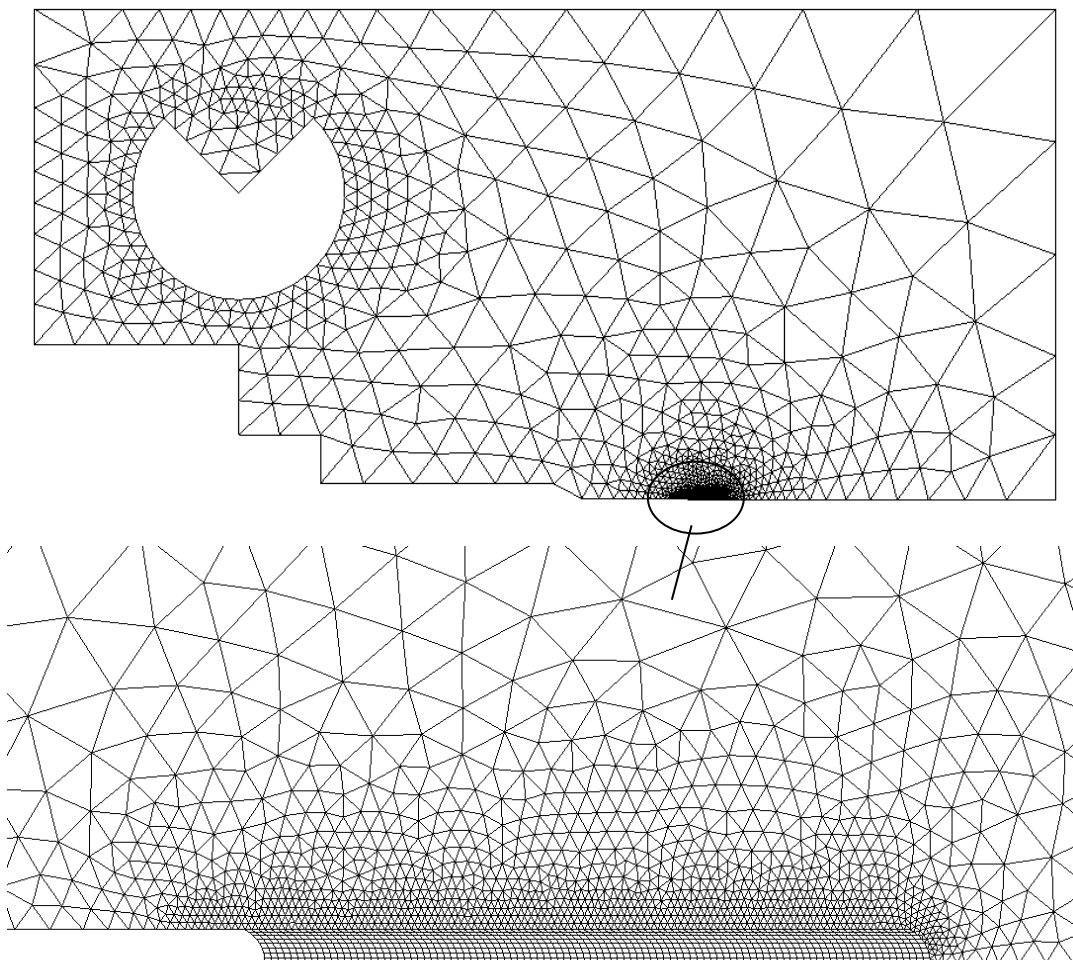
A chaque copeau, est associée une distance ΔL qui correspond à la distance intérieure du copeau au fond d'entaille.

2.3 Références bibliographiques

- 1) WADIER Y. : « Présentation succincte de l'approche énergétique de la rupture élastoplastique appliquée à la rupture par clivage », Note EDF R&D HT-64/03/001/A, janvier 2003.
- 2) WADIER Y., LORENTZ E. : « Mécanique de la rupture en présence de plasticité : modélisation de la fissure par une entaille ». C.R.A.S. t. 332, série IIb, 2004.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



La fissure est modélisée par une entaille de rayon 100 microns. La zone Ze de 2 mm de longueur est divisée en couches d'éléments de 20 microns d'épaisseur (appelés aussi « copeaux »).

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9368

Nombre de mailles et types : 3350 TRIA6, 800 QUAD8

3.3 Grandeurs testées et résultats

3.3.1 Valeurs testées

Avec l'opérateur `CALC_GP` et définition des copeaux par le maillage :

Identification	Référence Aster	Tolérance (%)
G_p à l'instant 4 au copeau 8	0.023662413	0.010
G_p à l'instant 40 au copeau 3	0.727738207	0.010

Avec l'opérateur `CALC_GP` et définition automatique des copeaux

Identification	Référence Aster	Tolérance (%)
G_p à l'instant 4 au copeau 8	0.0234148559	0.010
G_p à l'instant 40 au copeau 3	0.674949376	0.010

3.3.2 Remarque

Les résultats observés pour s'assurer de la non-régression du code sont les valeurs critiques du paramètre énergétique correspondant aux valeurs de ténacités critiques suivantes : $Kjc_1 = 27,2 \text{ MPa}\sqrt{m}$; $Kjc_2 = 34 \text{ MPa}\sqrt{m}$; $Kjc_3 = 40 \text{ MPa}\sqrt{m}$.

A ces valeurs correspondent des chargements critiques identifiés en calculant la quantité G par la méthode Théta qui est reliée à la ténacité via la formule d'Irwin : $G = \frac{1-\nu^2}{E} K^2$. Les couronnes choisies pour le champ Thêta sont : $[0.25 \text{ mm}; 0.5 \text{ mm}]$, $[0.5 \text{ mm}; 1.0 \text{ mm}]$, $[1.0 \text{ mm}; 2.0 \text{ mm}]$, $[2.0 \text{ mm}; 5.0 \text{ mm}]$, $[5.0 \text{ mm}; 10.0 \text{ mm}]$. A ces chargements critiques correspondent les valeurs critiques du paramètre Gp dont les valeurs sont testées au §3.3.1.

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

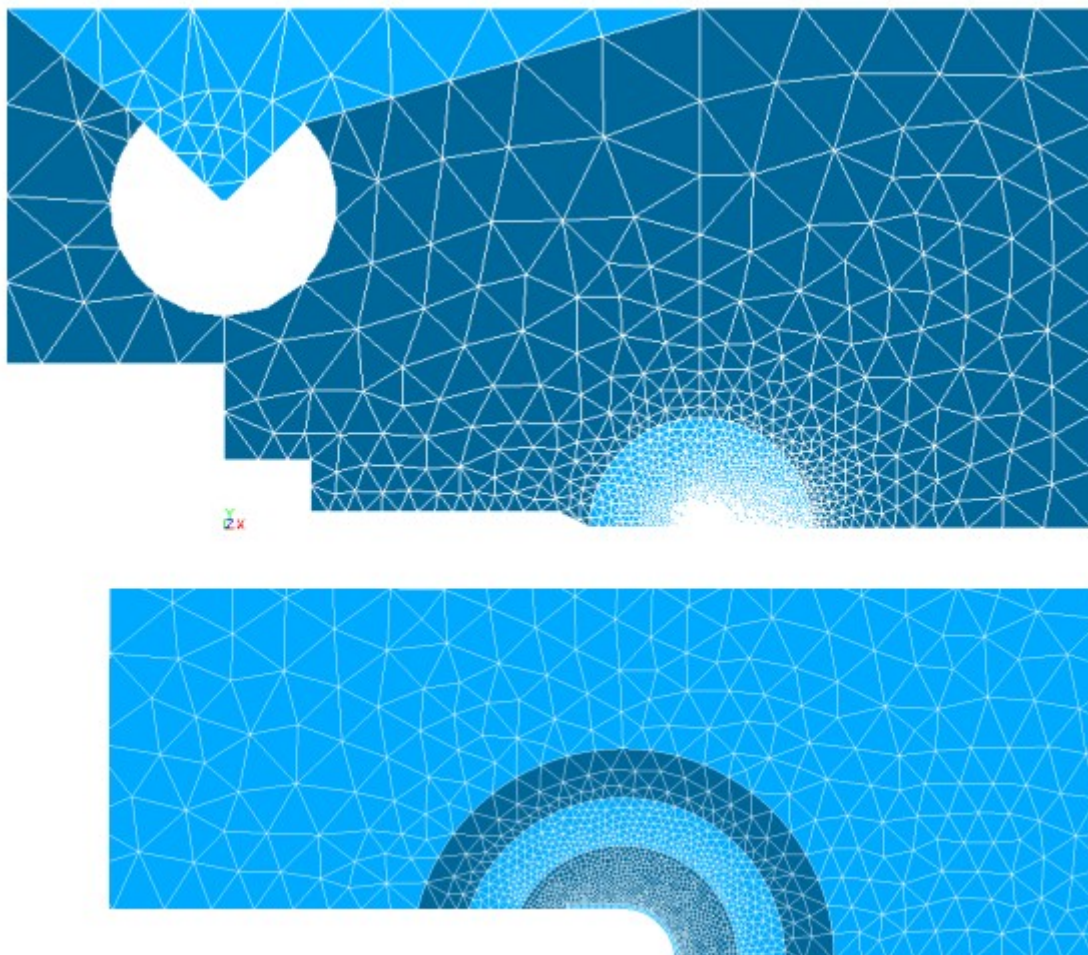


Figure 4.1 : Maillage de la modélisation B.

La fissure est modélisée par une entaille de rayon 100 microns.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 11514

Nombre de mailles et types : 4296 TRIA6, 886 QUAD8

4.3 Grandeurs testées et résultats

Avec l'opérateur `CALC_GP` et définition automatique des copeaux par le maillage :

Identification	Référence Aster	Tolérance (%)
G_P à l'instant 4 au copeau 8	0.02443105	0.010
G_P à l'instant 40 au copeau 3	0.740216439	0.010

Les différences remarquées entre les différentes possibilités de calcul, bien qu'assez faibles, sont dues à la géométrie différente des zones de calcul et à la singularité créée en utilisant la géométrie du maillage de la modélisation A. Pour plus de détails, les personnes habilitées pourront consulter le CR-AMA.12-272.

5 Synthèse des résultats

Dans les deux cas (2D et 3D), les tests sont validés avec un écart inférieur à 2e-04%.
On note de plus une grande cohérence des résultats 2D et 3D .