

## SSNA119 – Endommagement d'une éprouvette entaillée en AXIS

### Résumé :

Ce test représente un calcul d'endommagement d'une éprouvette entaillée. Il permet la validation de la modélisation `GRAD_VARI` et `GVNO` en axisymétrique, pour la modélisation `AXIS_GVNO/AXIS_GRAD_VARI`, qui permet d'effectuer des calculs d'endommagement régularisés par le gradient de l'endommagement, en prenant en compte des degrés de liberté de déplacement et d'endommagement aux nœuds.

Pour `GVNO` la résolution du critère est globale, à la différence de la modélisation `GRAD_VARI` qui effectue une résolution locale, points de Gauss par points de Gauss. On valide trois lois de comportement `ENDO_CARRE` (qui est pour le moment la seule loi que l'on peut utiliser avec la modélisation `GVNO`), `ENDO_SCALAIRE` et `ENDO_FISS_EXP`.

Les différentes modélisations et lois de comportement endommageant sont testées :

- **Modélisation A** : Modélisation `GVNO` avec la loi de comportement `ENDO_CARRE`
  - **Modélisation B** : Modélisation `GRAD_VARI` avec la loi de comportement `ENDO_SCALAIRE`
  - **Modélisation C** : Modélisation `GRAD_VARI` avec la loi de comportement `ENDO_FISS_EXP`

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

On considère une plaque entaillée de hauteur  $10\text{ dm}$ . De largeur  $3\text{ dm}$  et de rayon d'entaille  $1\text{ dm}$ .

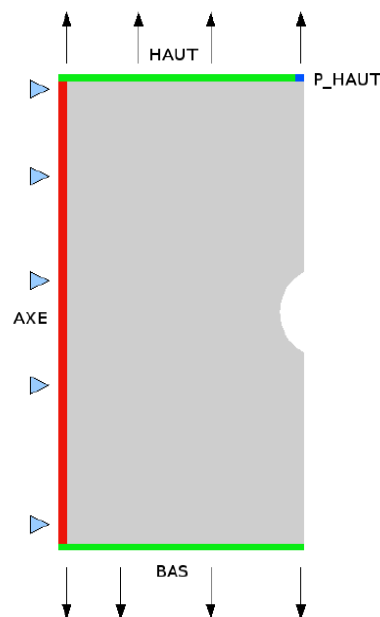


Figure 1 : Représentation du problème

### 1.2 Propriétés communes du matériau

Le matériau considéré est assimilé au béton (on travaille à l'échelle décimétrique):

Caractéristiques élastiques :

$$E = 3.E10\text{ Pa} = 3.E8\text{ N/dm}^2$$

$$\nu = 0.2$$

Limite d'élasticité en traction de la loi d'endommagement :

$$SY = 3.E4\text{ N/dm}^2 = 3.E6\text{ Pa}$$

Taux de restitution d'énergie par surface de fissure (constante de Griffith):

$$G_f = 10\text{ N/dm} = 100\text{ J/m}^2$$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

**Blocage** :  $DX = 0$  sur un groupe de nœuds situé au milieu de l'axe ( $x = 0.$ ), afin d'assurer le maintien de la structure.

**Chargement** : Déplacement imposé ou piloté (varie en fonction de la modélisation) dans la direction de traction.

## 2 Solution de référence

---

Ce cas test est un cas de non régression. Il s'agit d'une étude particulièrement instable, qui passe rapidement d'un état faiblement endommagé à un état de rupture (endommagement égal à 1).

Pour la modélisation `GVNO` le pas de temps au cours duquel on franchit l'instabilité demande plusieurs minutes de calculs. On se restreint donc, pour la validation du cas test, à la vérification de l'endommagement nodal au centre de l'entaille (  $x=2.$ ,  $y=0.$  ), sur deux pas de temps précédent le snap-back. Les chargements ne sont pas analytiques. Les valeurs des déplacements imposés sont simplement empiriques. De même, on trouve des valeurs d'endommagement associées qui ne sont pas des valeurs exactes. Pour la référence, on prendra les arrondis à la 5ème décimale. On demande pour la validation du cas test, une précision de l'ordre de  $10^{-4}$ .

On fait un calcul complet de snap-back avec la technique de pilotage par prédiction élastique pour la modélisation `GRAD_VARI`.

## 3 Modélisation A

---

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

On considère une modélisation d'endommagement `GVNO`, qui permet d'effectuer des calculs d'endommagement régularisés par le gradient de l'endommagement, en prenant en compte que des degrés de liberté de déplacement et d'endommagement aux nœuds. Cette modélisation n'accepte pas de pilotage de chargement par la prédiction élastique.

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 263 éléments `TRIA6`.

### 3.3 Loi d'endommagement : matériau `ENDO_CARRE`

Caractéristiques standards du béton sont définis précédemment.

Caractéristiques liées à la loi d'endommagement non-locale :

$c = 1.5 \text{ N}$  ce qui correspond à la zone d'endommagement `1D` égale à  $D = \sqrt{2c E / SY^2} = 0.5 \text{ dm}$

### 3.4 Conditions aux limites et chargements

**Chargement** : Déplacement imposé vertical  $U$  sur l'arête horizontale du haut ( $y=5.$ ) et  $-U$  sur celle du bas ( $y=-5.$ ) :

A l'instant  $t_1=6.5$  :  $DY=0.3675 \times 6.5 \text{ dm}$

A l'instant  $t_2=7.0$  :  $DY=0.3675 \times 7.0 \text{ dm}$

### 3.5 Grandeurs testées et résultats

Test de non régression sur la variable d'endommagement `DAMG` au nœud `no_test`.

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

On considère une modélisation d'endommagement `GRAD_VARI`, qui est une formulation mixte Lagrangienne d'endommagement régularisés par le gradient de l'endommagement. Elle prend en compte en plus des degrés de liberté de déplacement et d'endommagement aux nœuds, les coefficients de Lagrange. Cette modélisation accepte du pilotage de chargement par la prédiction élastique.

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1034 éléments `TRIA6` et 462 éléments `QUAD8`. Le maillage au centre de l'éprouvette est orienté hors symétrie.

### 4.3 Loi d'endommagement : matériau `ENDO_SCALAIRE`

Caractéristiques standards du béton sont définies précédemment.

Caractéristiques liées à la loi d'endommagement non-locale :

$c=1.875 \text{ N}$  ;  $p=1.5$  ;  $m=10$  ce qui correspond à la zone d'endommagement 1D égale à  $D=0.5 \text{ dm}$

La correspondance avec les paramètres physiques est la suivante :

$$c=3/8 D G_f ; m=\frac{3 E G_f}{2 D \cdot S Y^2} ; p=m/4-1 ;$$

### 4.4 Conditions aux limites et chargements

**Chargement** : Le calcul se fait en pilotage par prédiction élastique jusqu'à la rupture complète de l'éprouvette, grâce à la projection sur les bornes prédéfinies.

### 4.5 Grandeurs testées et résultats

Test de non régression sur le déplacement au point `P_HAUT` , la force nodale au point `P_HAUT` et le champ de contrainte au point de Gauss 1 de la maille `M160` .

## 5 Modélisation C

---

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

On considère une modélisation d'endommagement `GRAD_VARI`, qui est une formulation mixte Lagrangienne d'endommagement régularisés par le gradient de l'endommagement. Elle prend en compte en plus des degrés de liberté de déplacement et d'endommagement aux nœuds, les coefficients de Lagrange. Cette modélisation accepte du pilotage de chargement par la prédiction élastique.

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 1034 éléments `TRIA6` et 462 éléments `QUAD8`. Le maillage au centre de l'éprouvette est orienté hors symétrie.

### 5.3 Loi d'endommagement : matériau `ENDO_FISS_EXP`

Outre les caractéristiques du béton définies au § 1.2, on introduit une limite en compression de  $f_c=30.E6$  Pa, un paramètre de forme du modèle cohésif  $p=1.5$  et une demi-largeur de bande  $D=0.5$  dm.

### 5.4 Conditions aux limites et chargements

**Chargement** : Le calcul se fait en pilotage par prédiction élastique jusqu'à la rupture complète de l'éprouvette, grâce à la projection sur les bornes prédéfinies.

### 5.5 Grandeurs testées et résultats

Test de non régression sur le déplacement au point `P_HAUT`, la force nodale au point `P_HAUT` et le champ de contrainte dans son ensemble (somme absolue).

## 6 Synthèse des résultats

---

Ce test permet de vérifier en non régression :

- Modélisation GVNO avec la loi de comportement ENDO\_CARRE
- Modélisation GRAD\_VARI avec la loi de comportement ENDO\_SCALAIRE
- Modélisation GRAD\_VARI avec la loi de comportement ENDO\_FISS\_EXP