



# **Matériaux et structures composites**

## **TP2 — Simulation de la rupture d'une éprouvette trouée**

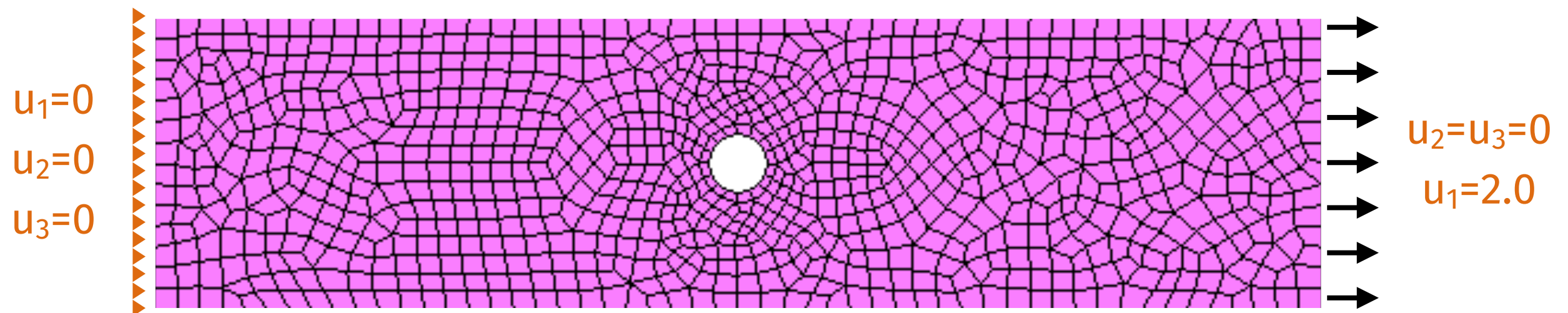
Guillaume Couégnat  
couegnat@lcts.u-bordeaux.fr

## Rupture d'une éprouvette trouée

Diamètre du trou:  $D=12.7\text{mm}$

Longueur:  $L=20D$

Largeur:  $W=5D$



## **Pli (Fibre carbone T300/matrice epoxy M18)**

$E_1 = 170\text{GPa}$ ,  $E_2 = 9\text{GPa}$ ,  $\nu_{12} = 0.34$ ,  $G_{12} = 4.8\text{GPa}$ ,  $G_{13} = G_{23} = 4.5\text{GPa}$

$X_t = 2050\text{MPa}$ ,  $X_c = 1200\text{MPa}$ ,  $Y_t = 62\text{MPa}$ ,  $Y_c = 190\text{MPa}$ ,  $S_l = S_t = 81\text{MPa}$

$G_c^{ft} = 95\text{kJ/m}^2$ ,  $G_c^{fc} = 103\text{kJ/m}^2$ ,  $G_c^{mt} = 0.2\text{kJ/m}^2$ ,  $G_c^{mc} = 0.2\text{kJ/m}^2$

## **Empilement quasi-iso**

$[45/90/-45/0]_s$

0.5mm par pli

## I - Calcul préliminaire

Ouvrir le fichier `calcul-endo-1.inp` et examiner son contenu.

Faire un premier calcul élastique et afficher les contraintes dans chacun des plis (cf. tutoriel *Affichage des contraintes dans chaque pli*).

Par défaut, Abaqus affiche les contraintes dans le repère matériau lié au pli, faire un changement de repère pour afficher les contraintes dans le repère global (qui correspond au repère défini par `ORI=0`). Aidez-vous du tutoriel vidéo *Projection des contraintes locales dans le repère global*.

*Attention, il faut avoir lancé le calcul en ligne de commande pour accéder à `ORI=0`, sinon choisir le repère lié aux plis 4 ou 5 (plis à  $0^\circ$ )*

## II - Critère d'amorçage

Sauver le fichier calcul-endo-1.inp sous le nom calcul-endo-2.inp

Modifier le contenu du fichier pour introduire le critère d'amorçage en contraintes, modifier les pas de temps, et demander la sortie des critères.

...

```
*material, name=T300M18
```

```
*elastic, type=lamina
```

```
170000.0, 9000.0, 0.34, 4800.0, 4800.0, 4500.0
```

```
*damage initiation, criterion=hashin
```

```
2050.0, 1200.0, 62.0, 190.0, 81.0, 81.0 (à ajouter)
```

...

```
*static
```

```
0.1, 1.0, 0.1, 0.1 (à modifier)
```

...

$\Delta t_0, t_{\text{final}}, \Delta t_{\text{min}}, \Delta t_{\text{max}}$

on force Abaqus à faire  
10 itérations

...

\*element output, elset=elset1, direction=yes

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16

E, S,

HSNFCCRT, HSNFTCRT, HSNMCCRT, HSNMTCRT,

*(à ajouter)*

\*element output, elset=elset1, direction=yes

17,18,19,20,21,22,23,24,22,23,24

E, S,

HSNFCCRT, HSNFTCRT, HSNMCCRT, HSNMTCRT,

*(à ajouter)*

HSNFCCRT = **HaShiN** Fiber **Com**pression **CRi**Terion

HSNFTCRT = **HaShiN** Fiber **T**raction **CRi**Terion

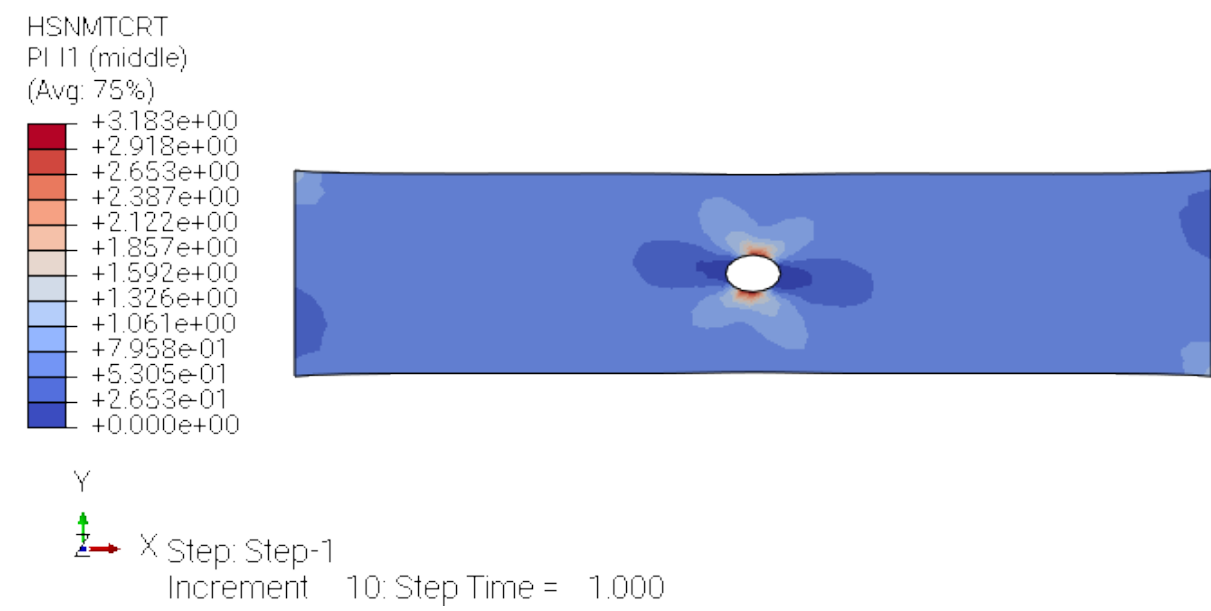
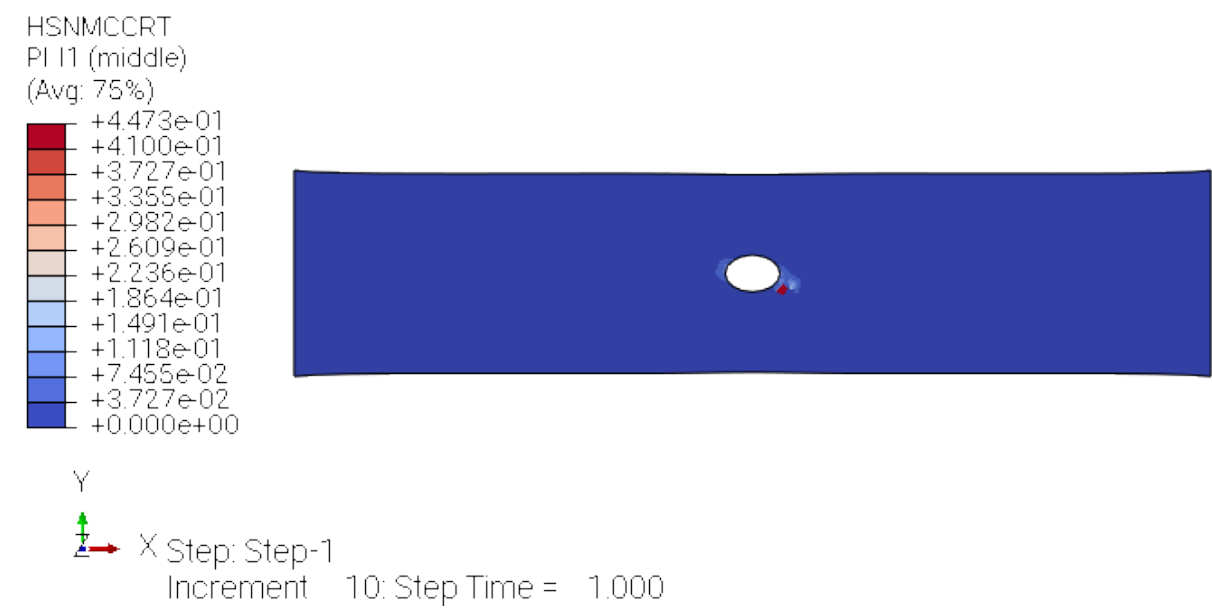
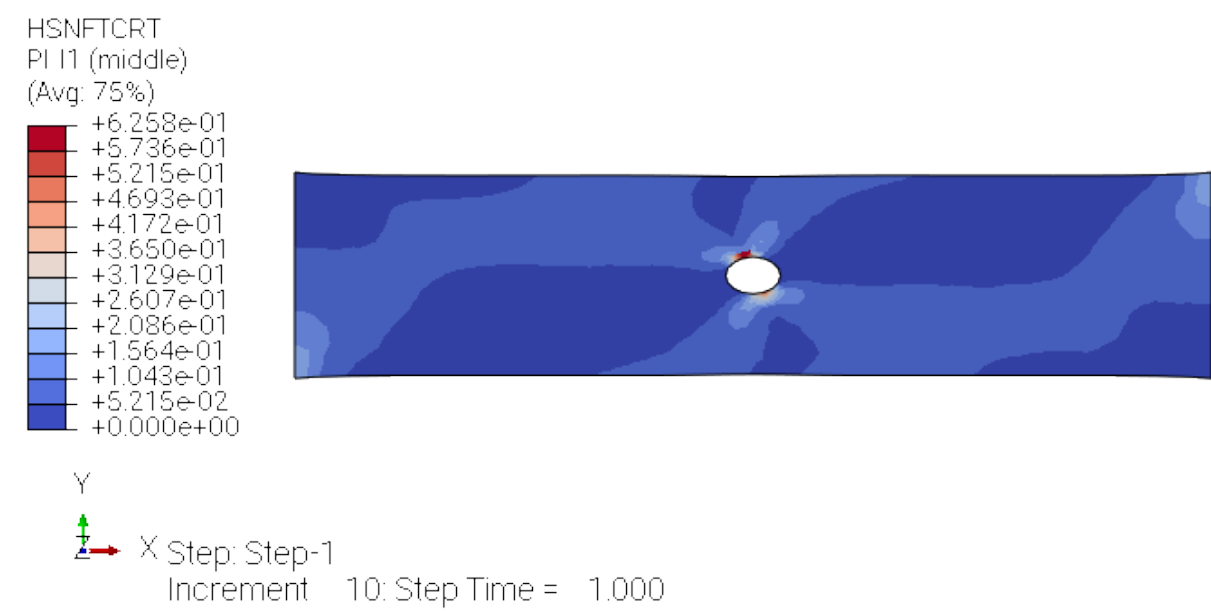
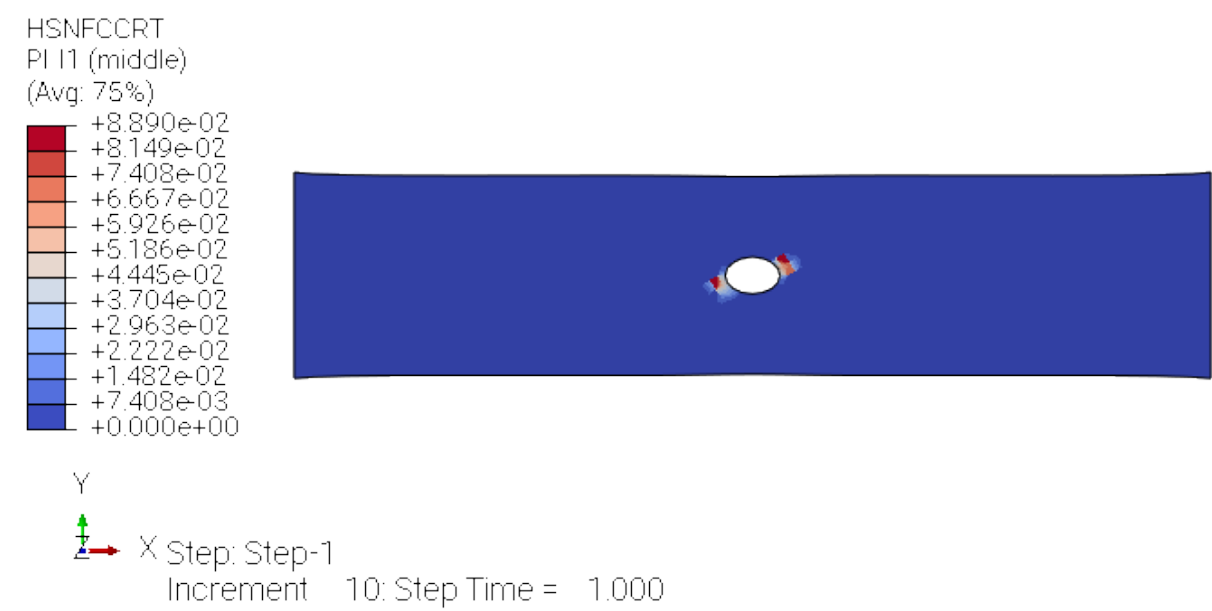
HSNMCCRT = **HaShiN** **M**atrix **Com**pression **CRi**Terion

HSNMTCRT = **HaShiN** **M**atrix **T**raction **CRi**Terion

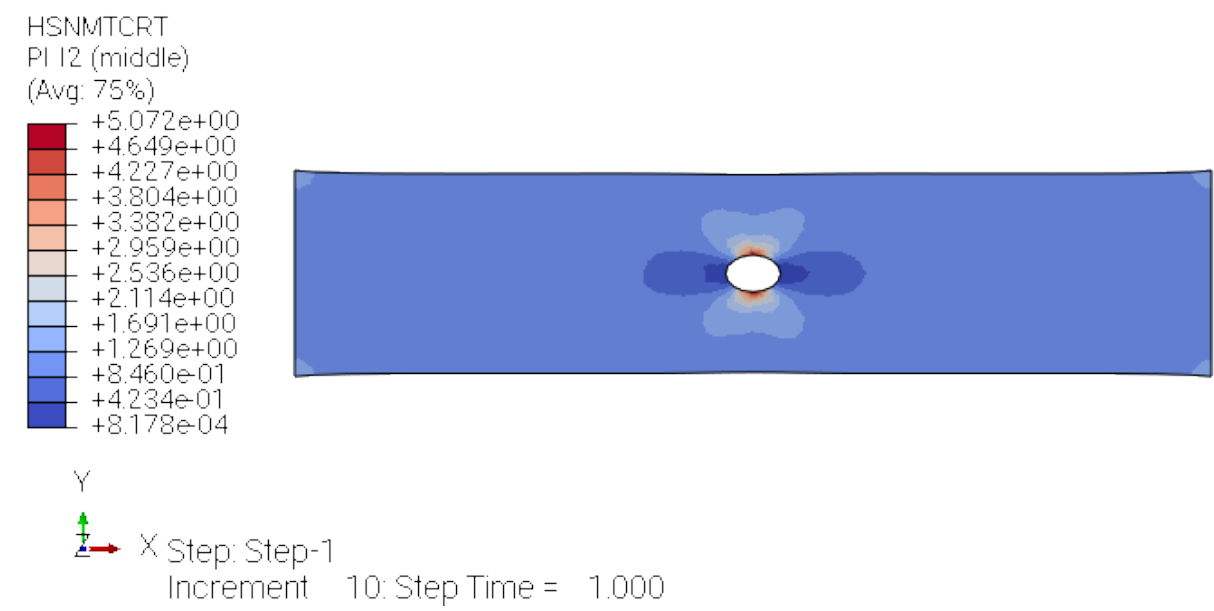
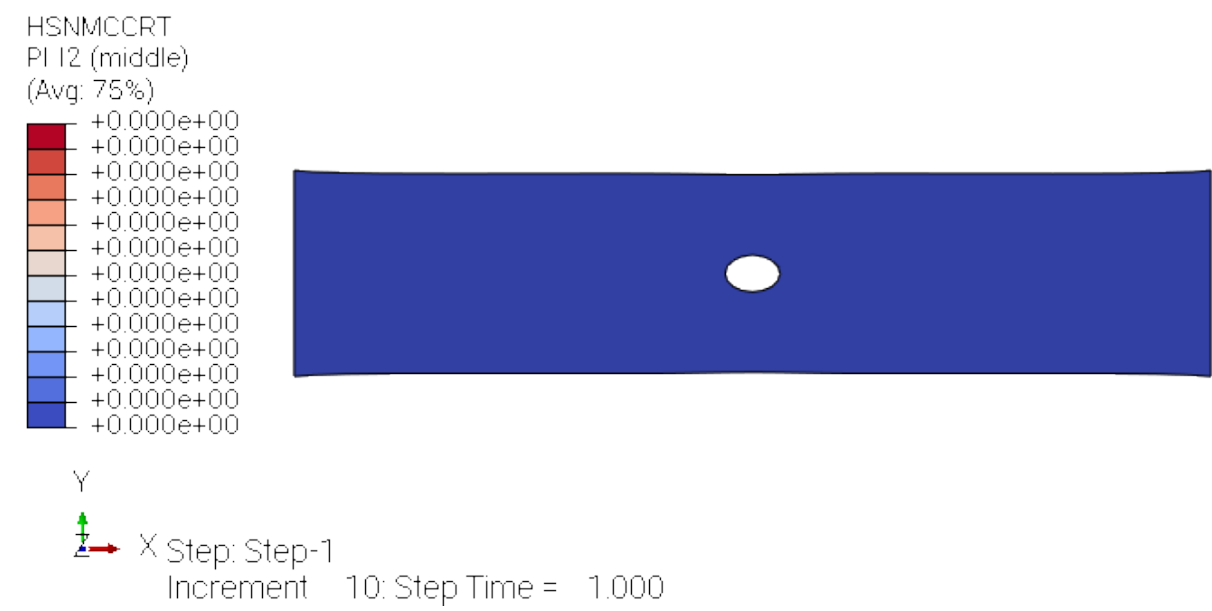
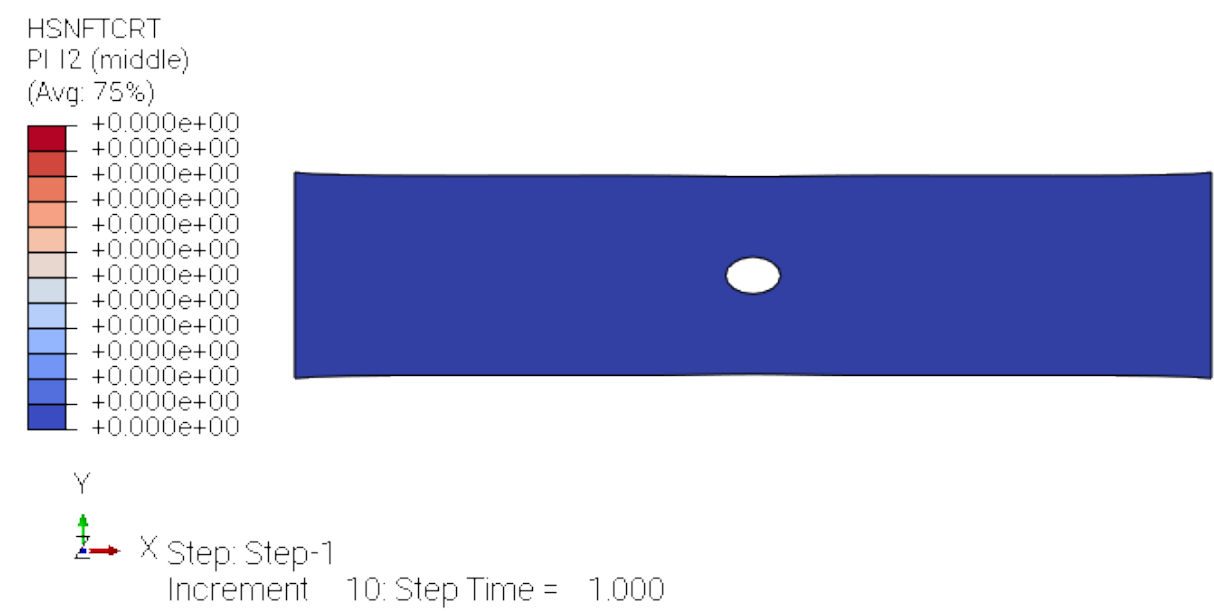
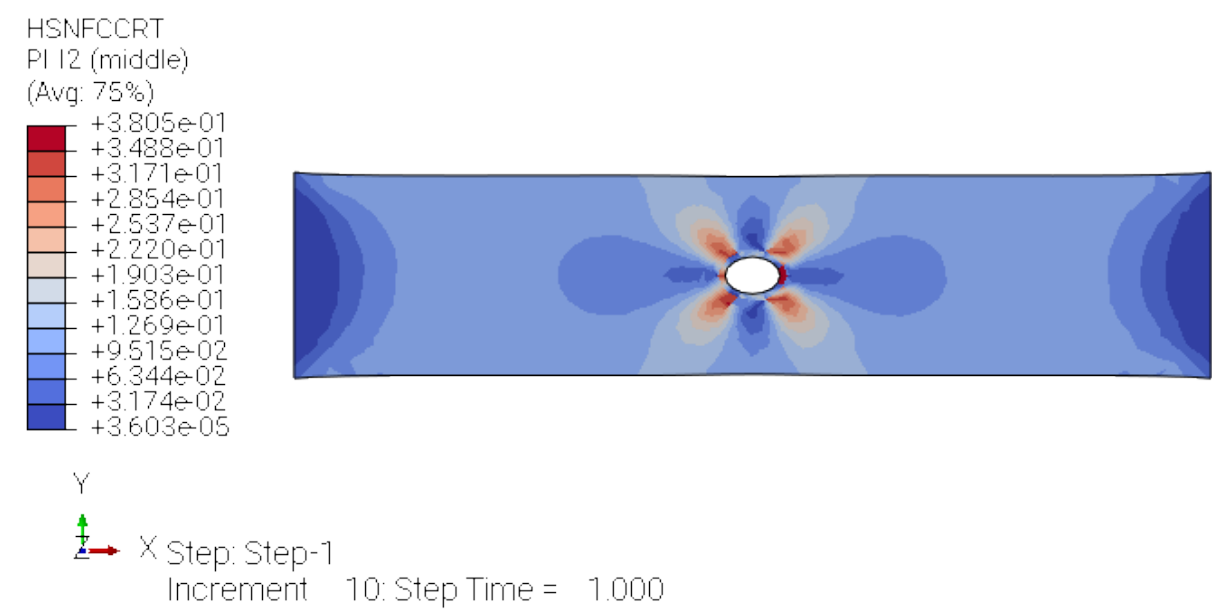
HSNxxCRT > 1 : critère activé

Relancer le calcul et identifier le premier mode d'endommagement actif (valeur de  $HSN_{xxCRT} > 1$ ) dans chaque pli.

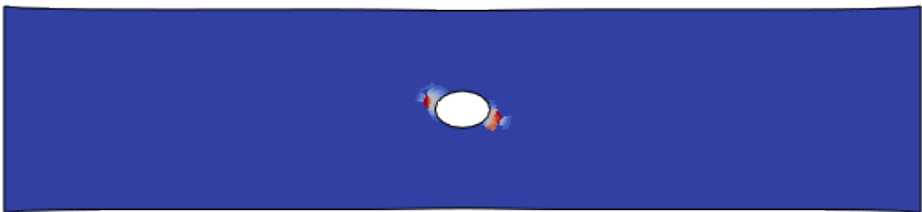
Déterminer pour quel incrément les modes d'endommagement dépassent éventuellement la valeur seuil.





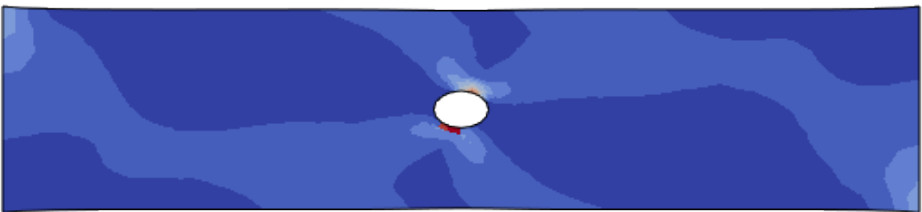


HSNFCRT  
PI I3 (middle)  
(Avg: 75%)  
+9.495e-02  
+8.704e-02  
+7.913e-02  
+7.121e-02  
+6.330e-02  
+5.539e-02  
+4.748e-02  
+3.956e-02  
+3.165e-02  
+2.374e-02  
+1.583e-02  
+7.913e-03  
+0.000e+00



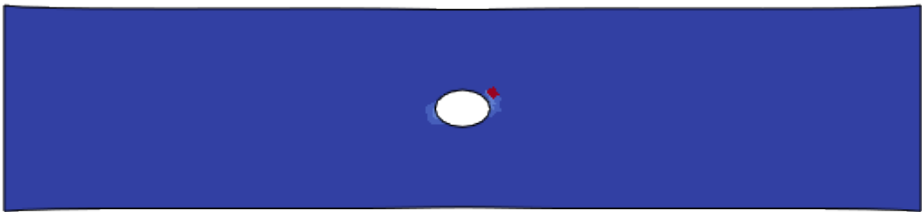
Y  
X Step: Step-1  
Increment 10: Step Time = 1.000

HSNFTCRT  
PI I3 (middle)  
(Avg: 75%)  
+6.387e-01  
+5.855e-01  
+5.323e-01  
+4.790e-01  
+4.258e-01  
+3.726e-01  
+3.194e-01  
+2.661e-01  
+2.129e-01  
+1.597e-01  
+1.065e-01  
+5.323e-02  
+0.000e+00



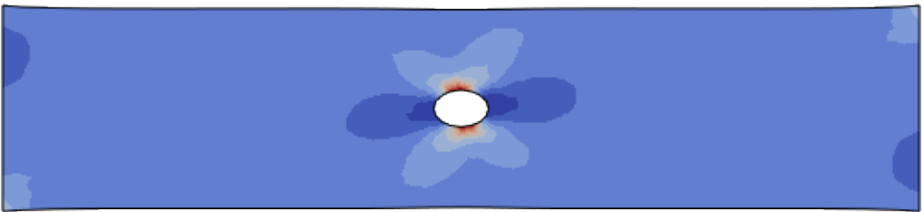
Y  
X Step: Step-1  
Increment 10: Step Time = 1.000

HSNMCCRT  
PI I3 (middle)  
(Avg: 75%)  
+4.226e-01  
+3.874e-01  
+3.521e-01  
+3.169e-01  
+2.817e-01  
+2.465e-01  
+2.113e-01  
+1.761e-01  
+1.409e-01  
+1.056e-01  
+7.043e-02  
+3.521e-02  
+0.000e+00

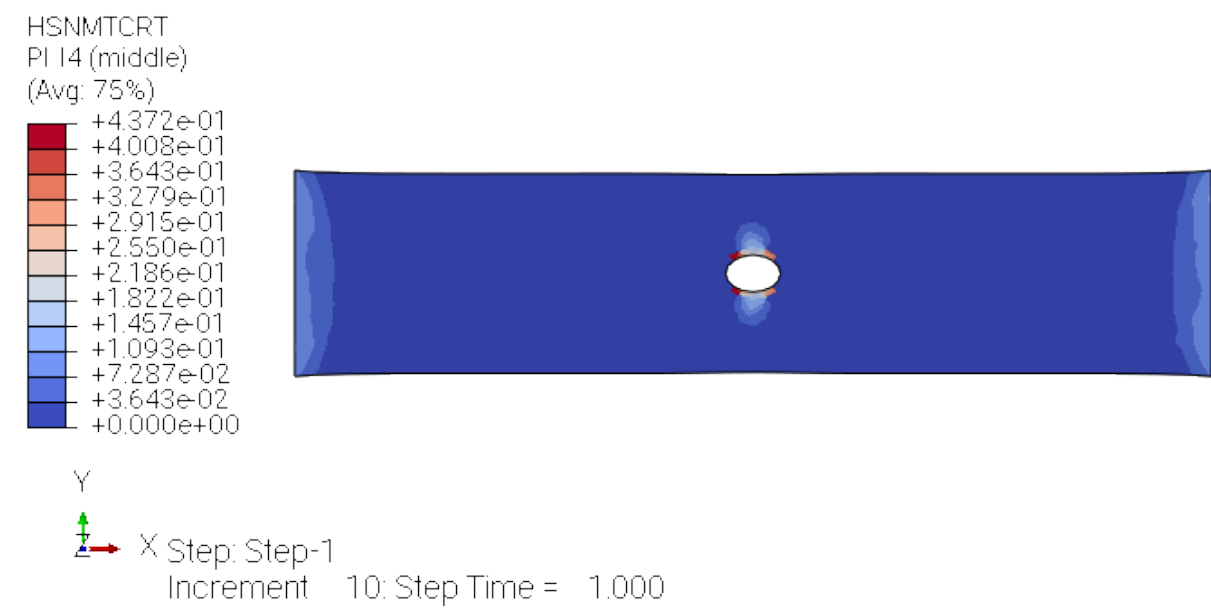
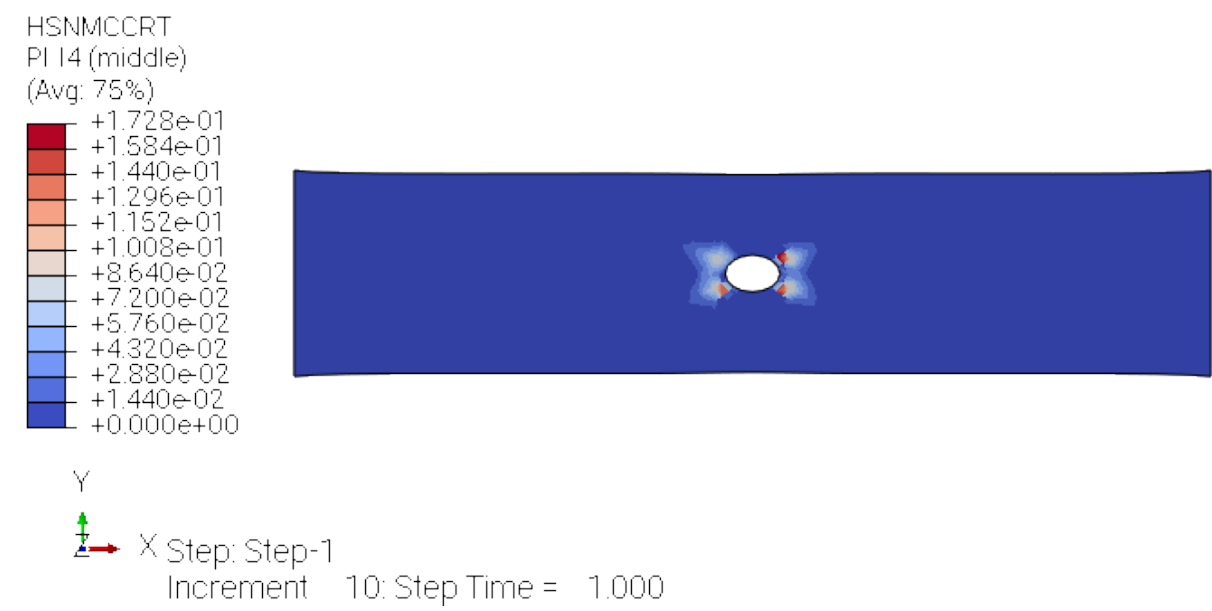
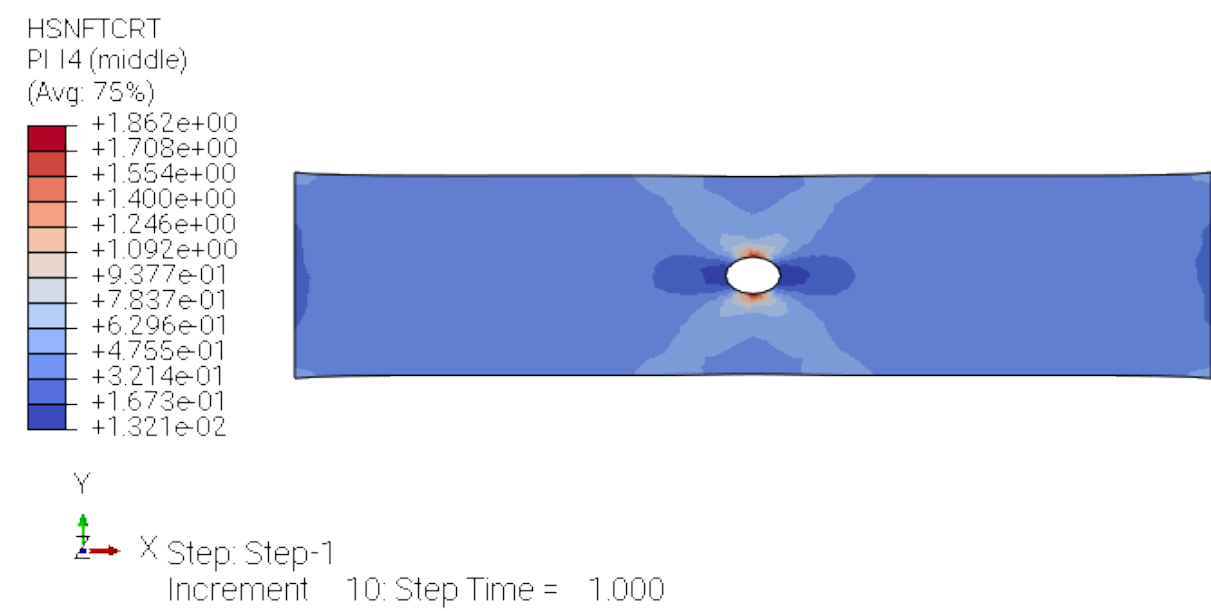
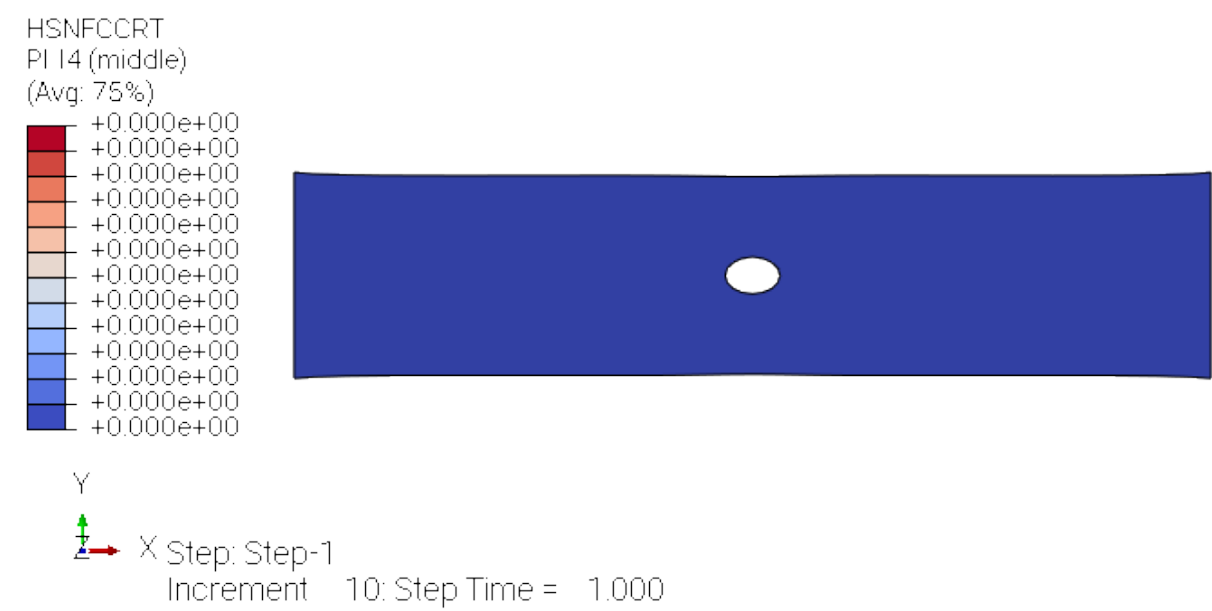


Y  
X Step: Step-1  
Increment 10: Step Time = 1.000

HSNMTCRT  
PI I3 (middle)  
(Avg: 75%)  
+3.115e+00  
+2.856e+00  
+2.596e+00  
+2.336e+00  
+2.077e+00  
+1.817e+00  
+1.558e+00  
+1.298e+00  
+1.038e+00  
+7.788e-01  
+5.192e-01  
+2.596e-01  
+0.000e+00



Y  
X Step: Step-1  
Increment 10: Step Time = 1.000



### III - Propagation de l'endommagement

Sauver le fichier calcul-endo-2.inp sous le nom calcul-endo-3.inp et modifier le fichier pour introduire le critère de propagation

...

\*damage initiation, criterion=hashin

2050.0, 1200.0, 62.0, 190.0, 81.0, 81.0

**\*damage evolution, type=energy, softening=linear**

95.0, 103.0, 0.2, 0.2

←  $G_{FT}$   $G_{FC}$   $G_{MT}$   $G_{MC}$

**\*damage stabilization**

1e-3, 1e-3, 1e-3, 1e-3

← nécessaire pour  
la convergence  
du calcul

...

\*static

0.01, 1.0, 1e-6, 0.1

**\*controls, parameters=time incrementation**

30, 30, 30, 30

...

...

```
*element output, elset=elset1, direction=yes
```

```
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16
```

```
E, S,
```

```
HSNFCCRT, HSNFTCRT, HSNMCCRT, HSNMTCRT,
```

```
DAMAGEFC, DAMAGEFT, DAMAGEMC, DAMAGENT, DAMAGESHR
```

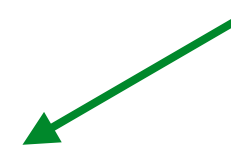
```
*element output, elset=elset1, direction=yes
```

```
17,18,19,20,21,22,23,24,22,23,24
```

```
E, S,
```

```
HSNFCCRT, HSNFTCRT, HSNMCCRT, HSNMTCRT,
```

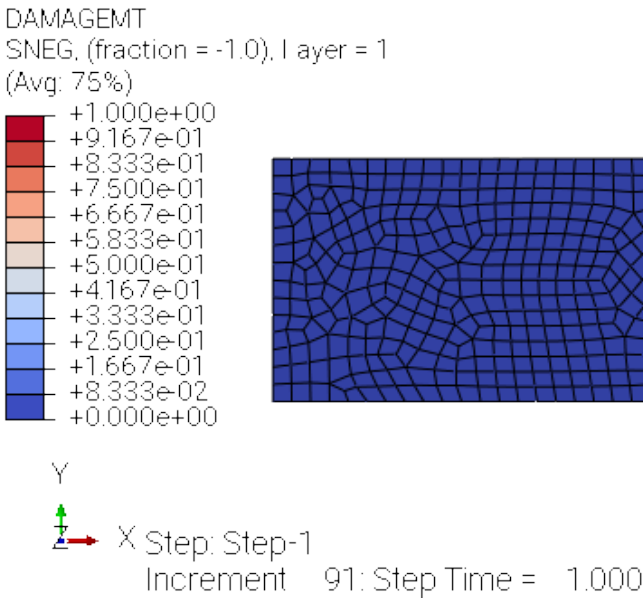
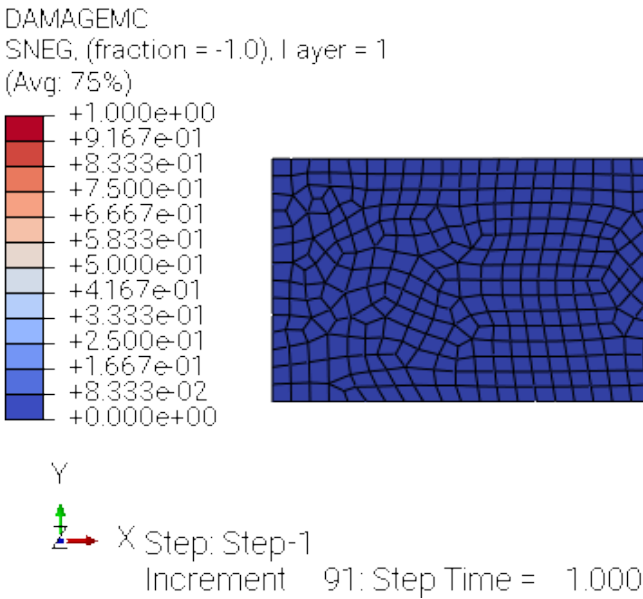
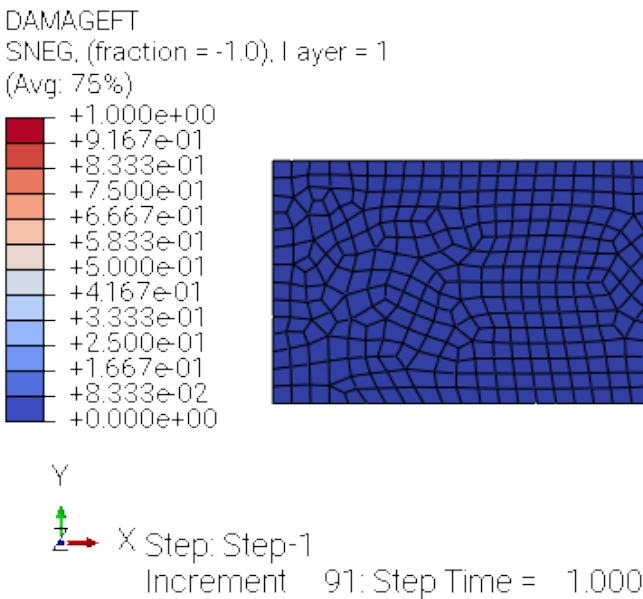
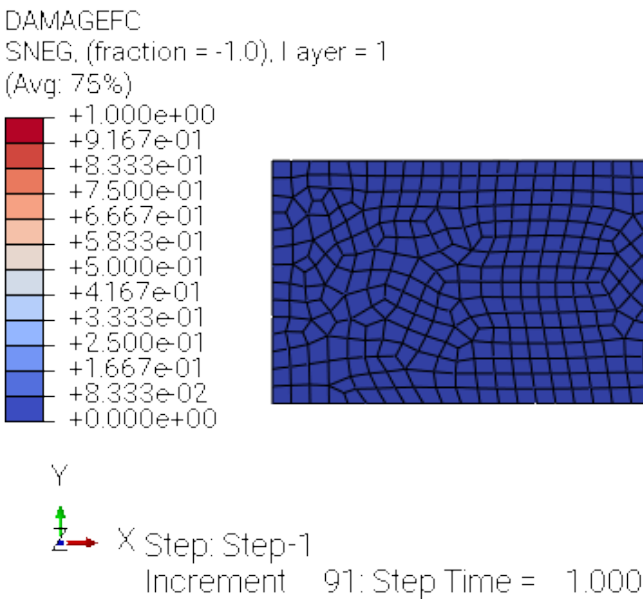
```
DAMAGEFC, DAMAGEFT, DAMAGEMC, DAMAGENT, DAMAGESHR
```

 $d_{FC} \ d_{FT} \ d_{MC} \ d_{MS} \ d_S$ 


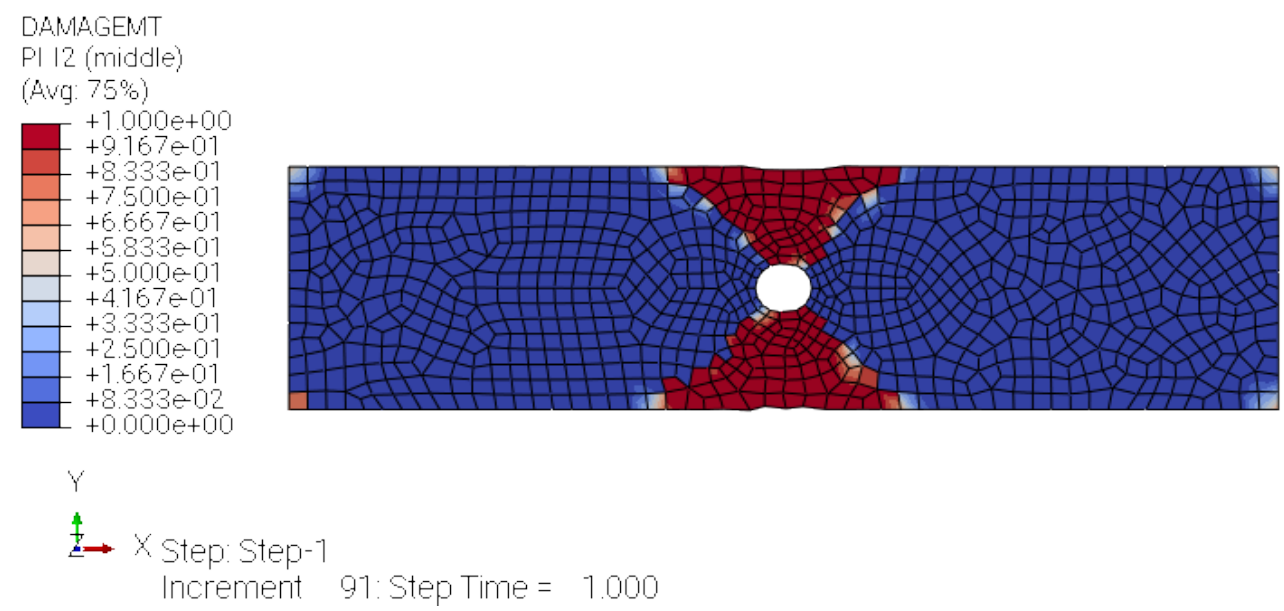
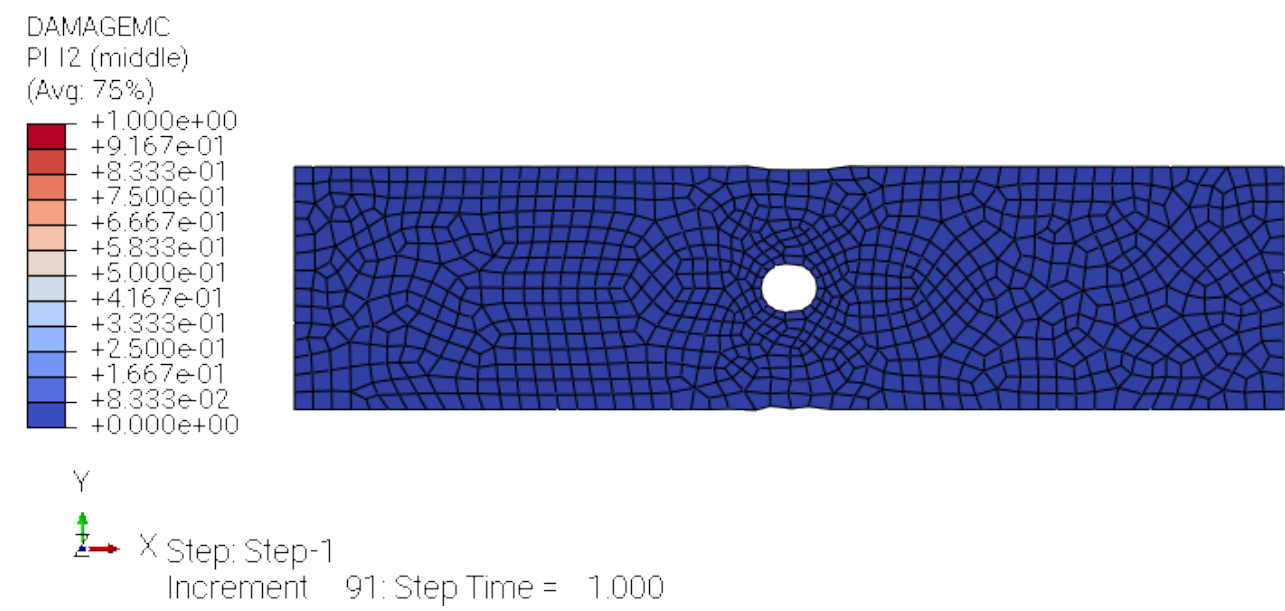
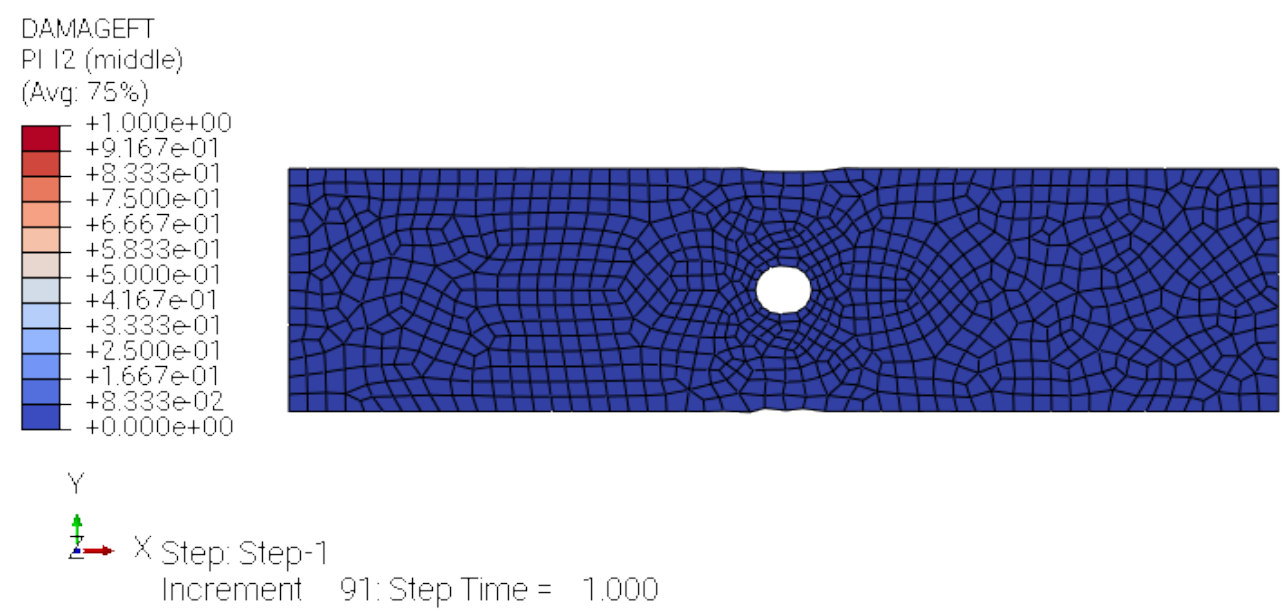
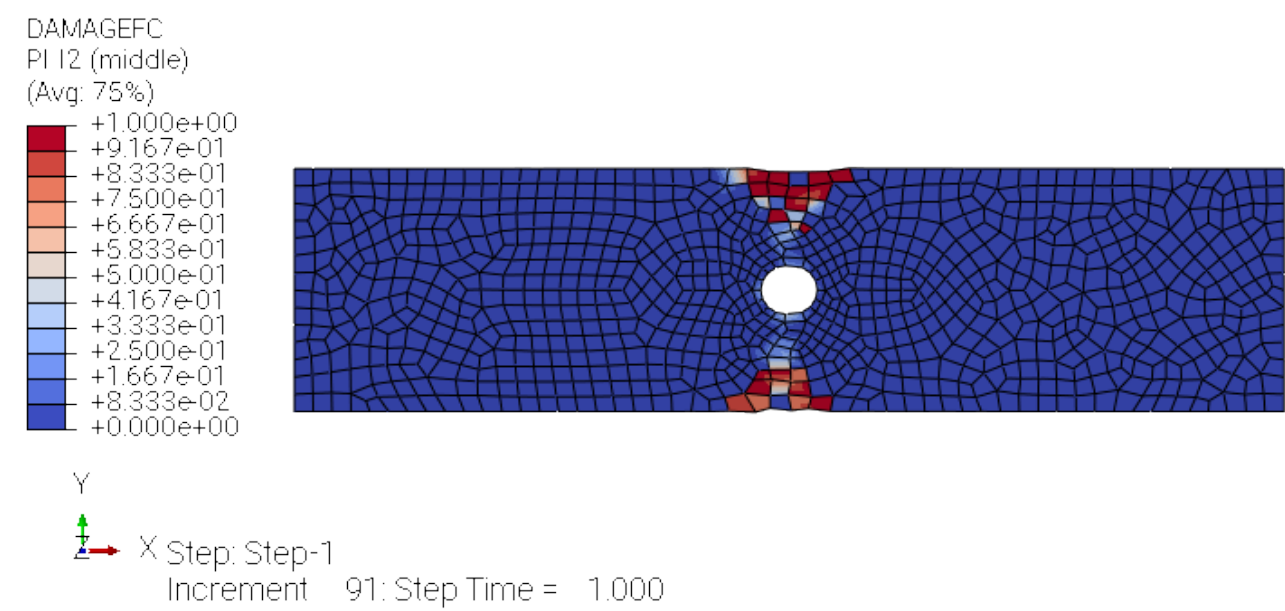
Observer l'évolution de l'endommagement dans chacun des plis

Tracer la force de réaction en fonction du temps (cf. tutoriel vidéo *Tracé de la réaction en fonction du temps*).

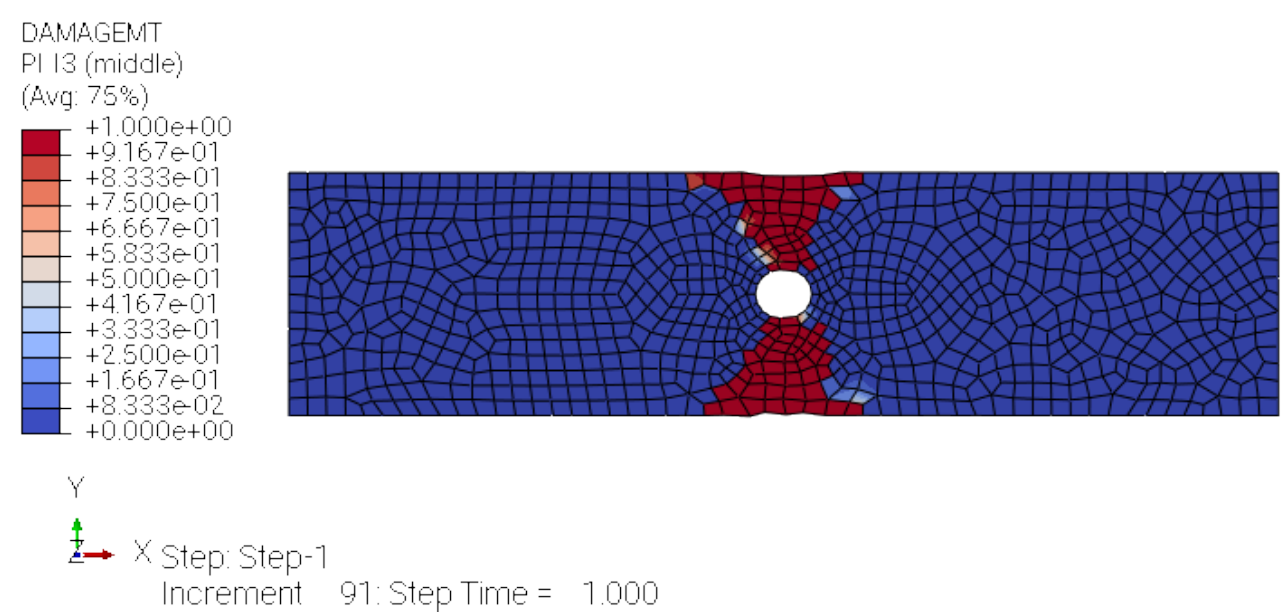
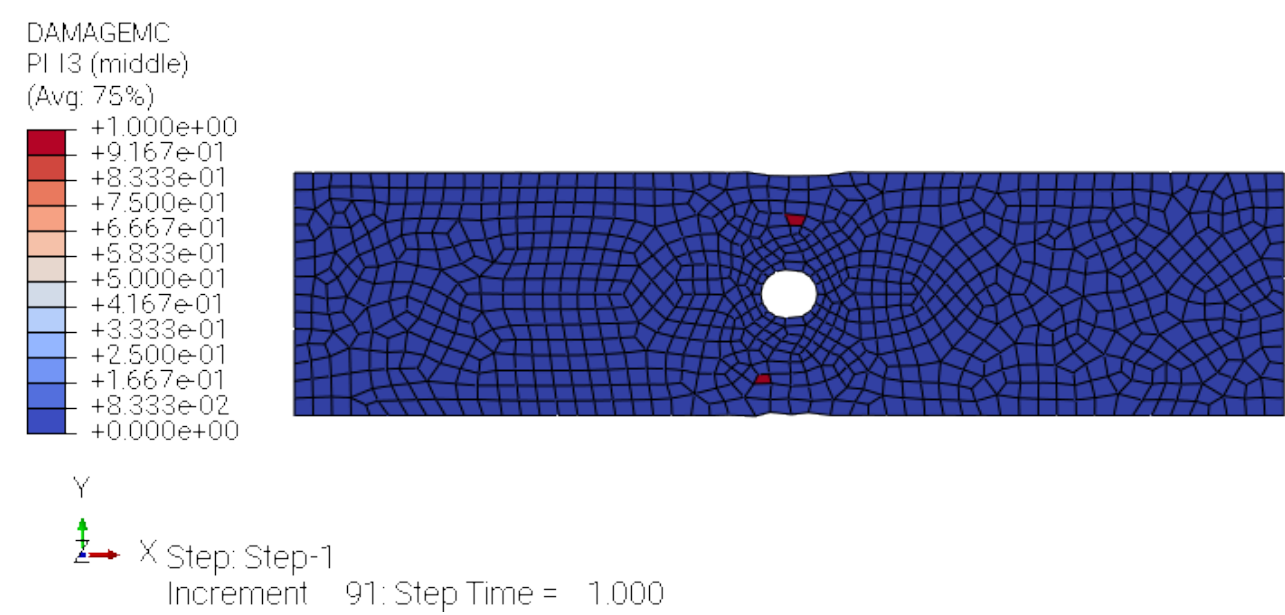
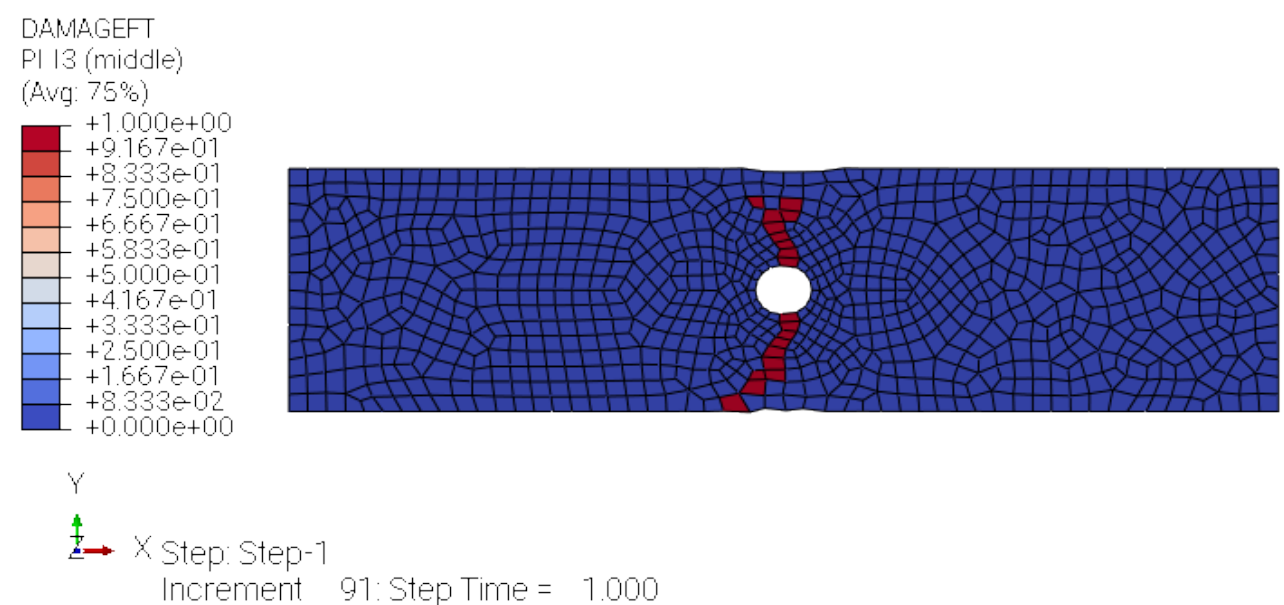
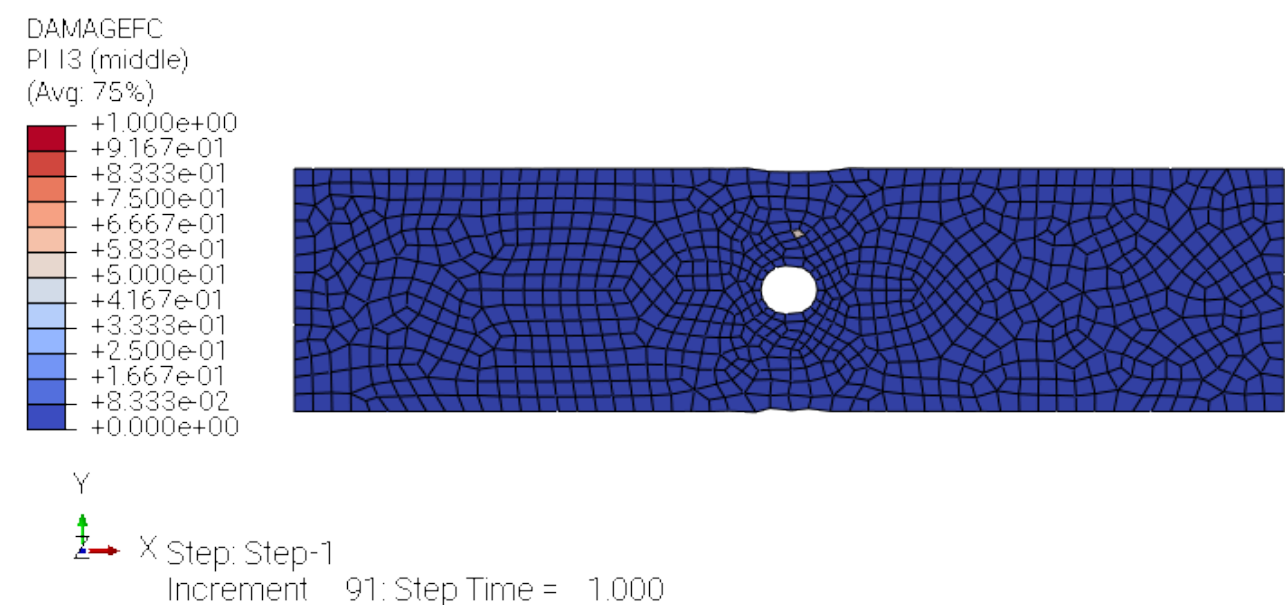
Corréler les endommagements et leurs effets sur la courbe de comportement (cf. tutoriel *Synchronisation*). Le premier endommagement est-il critique ?

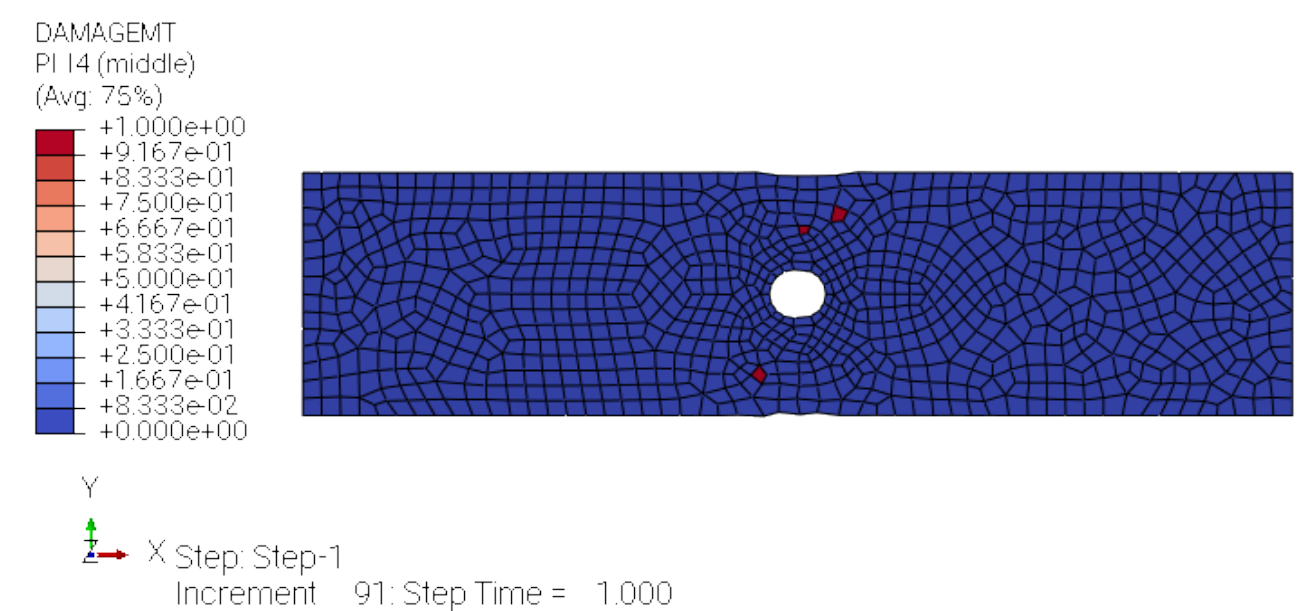
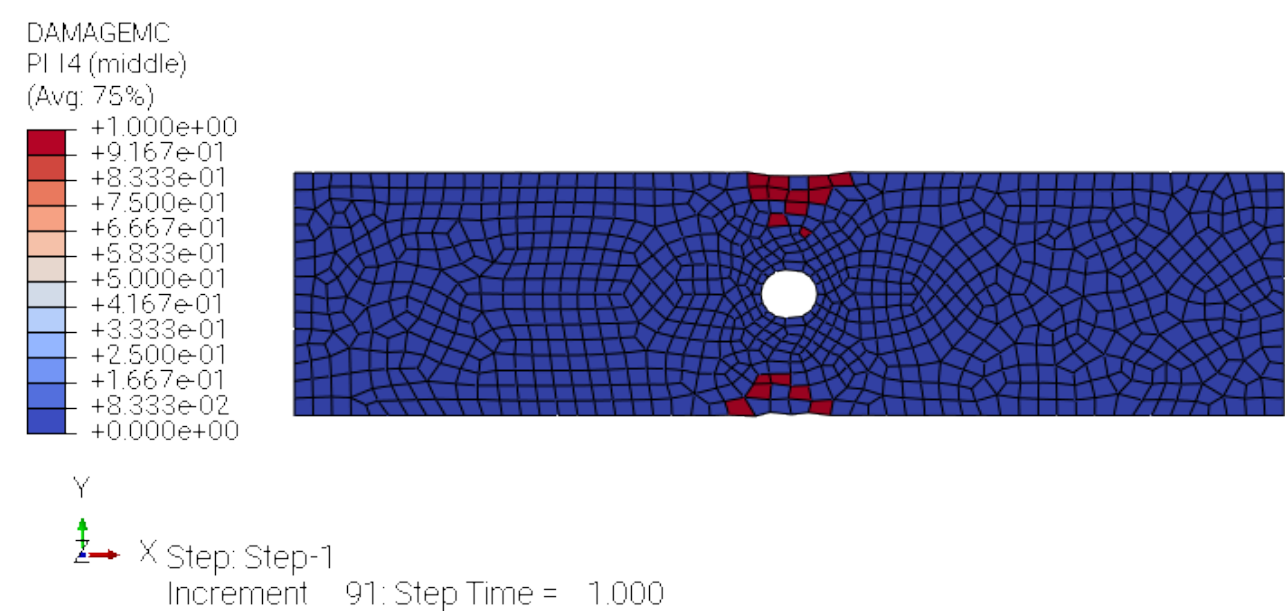
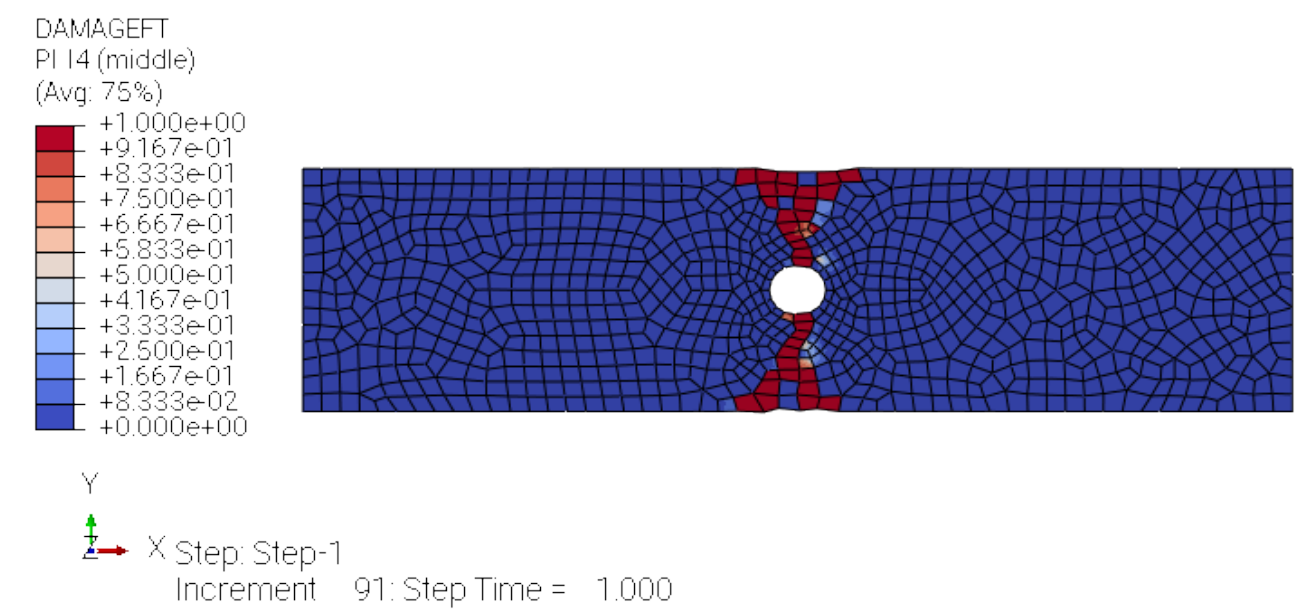
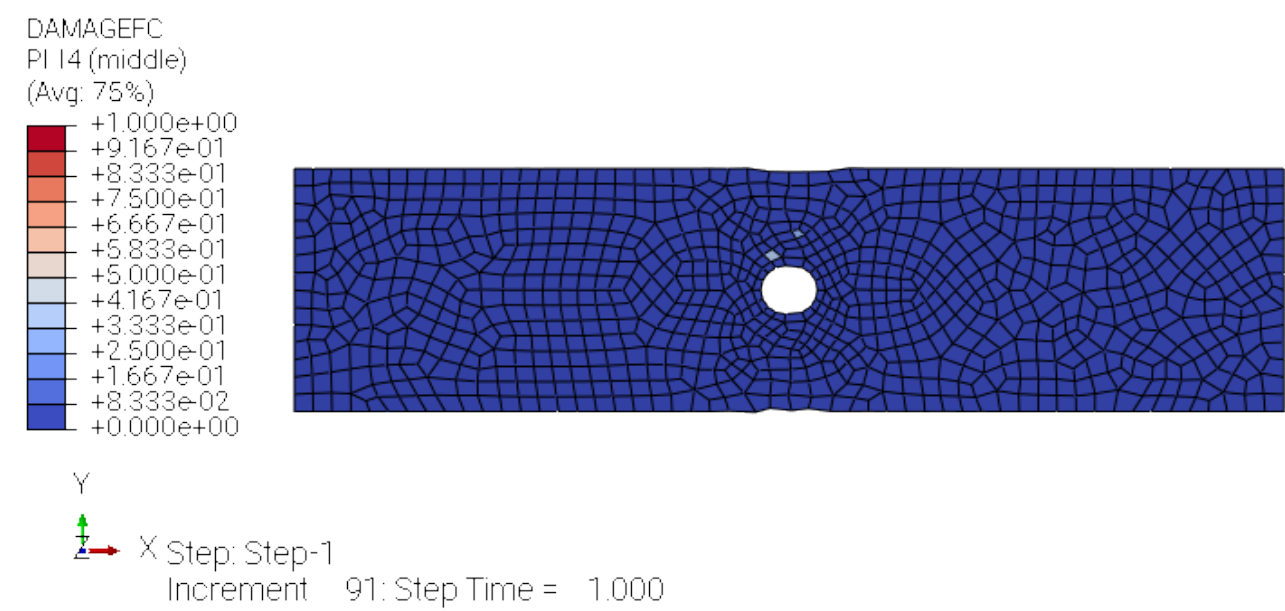


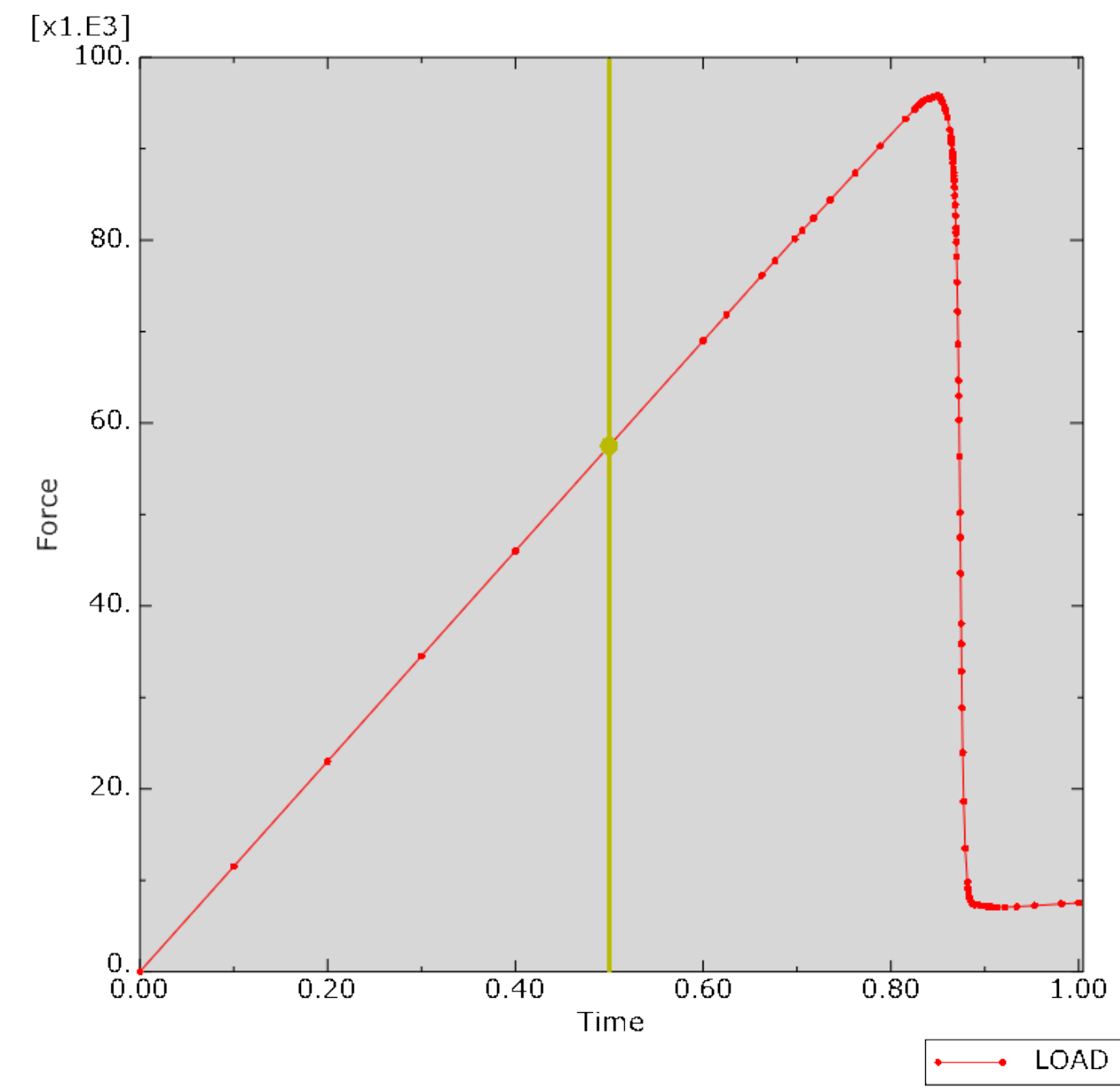
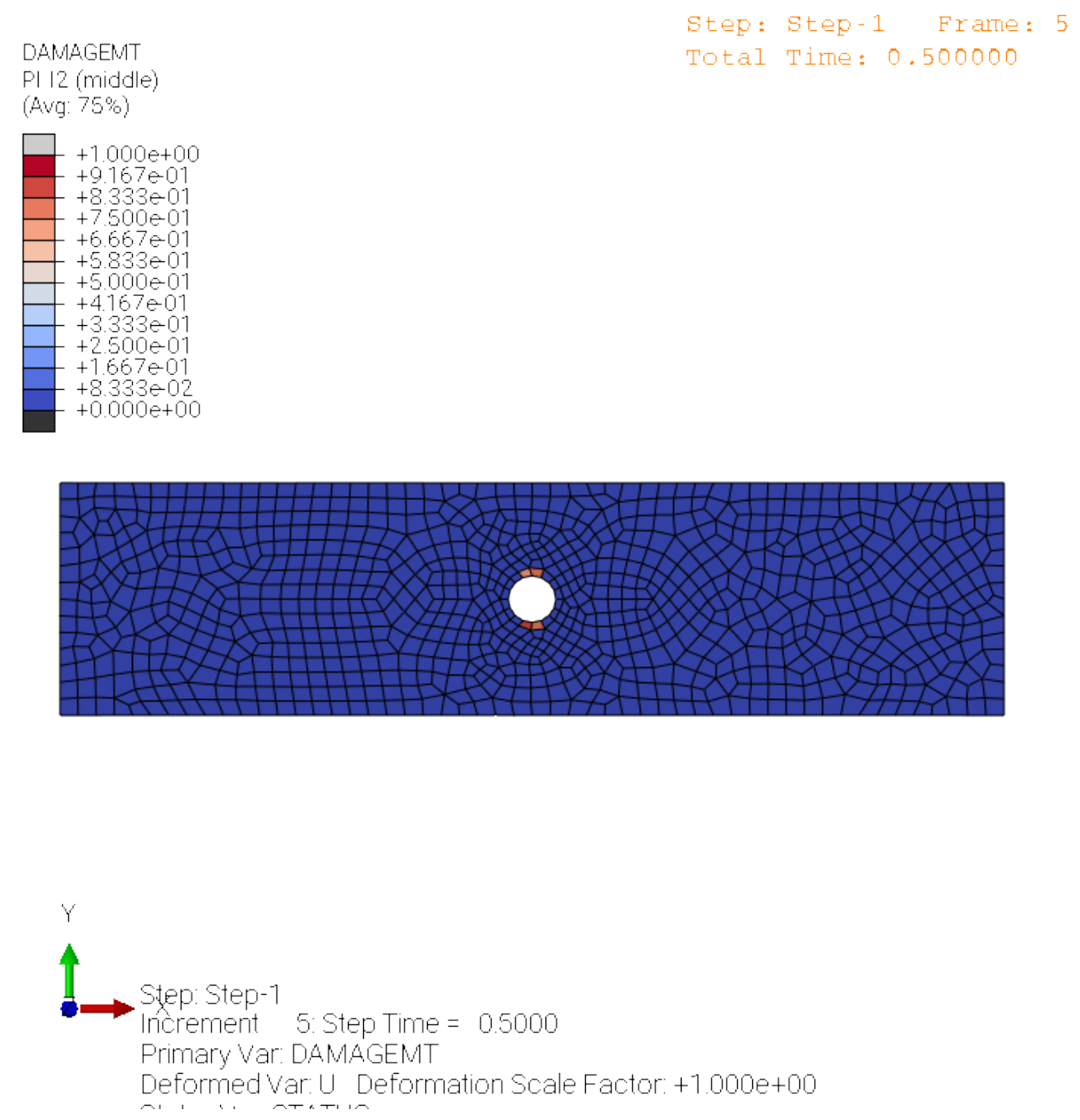


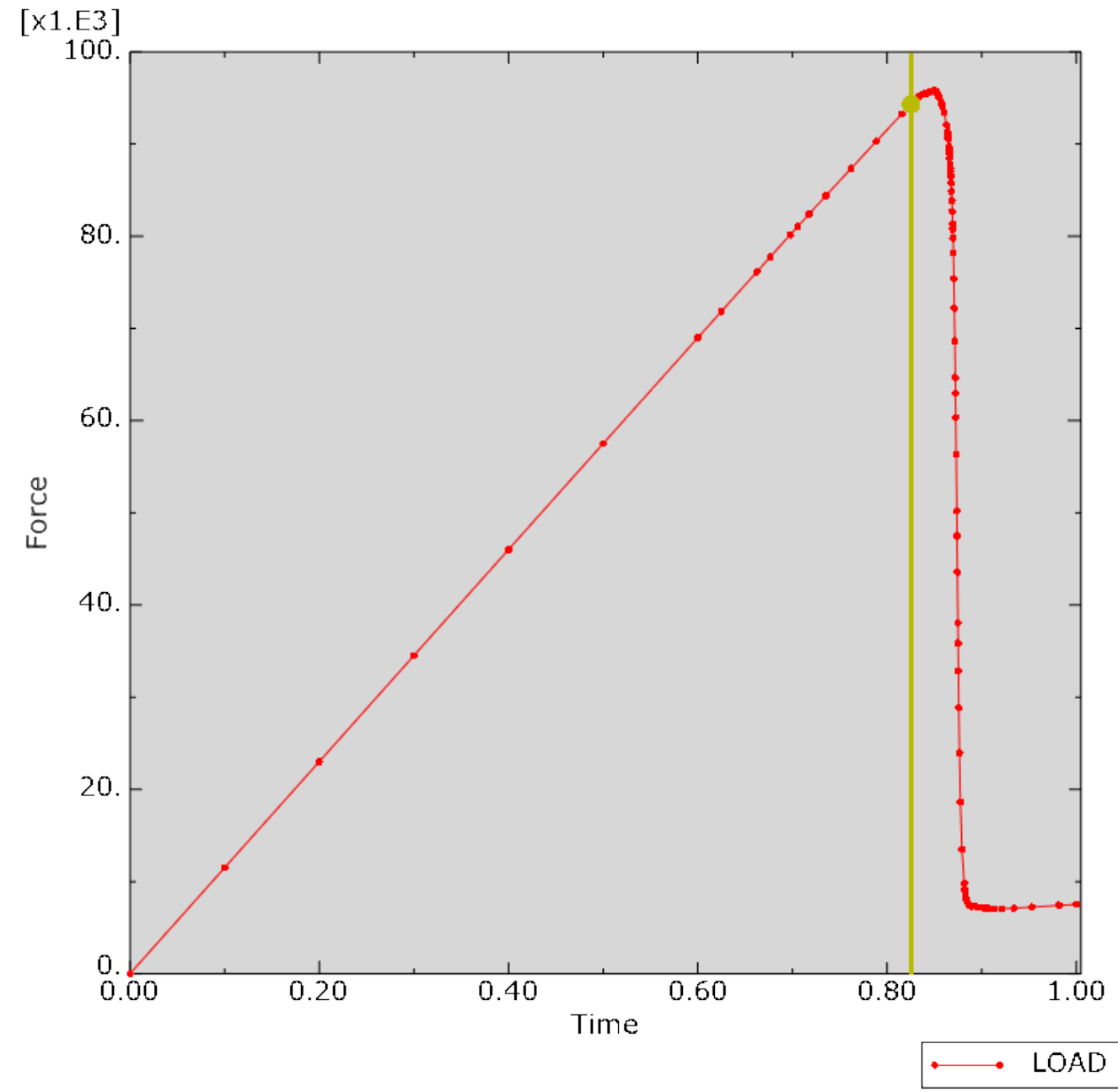
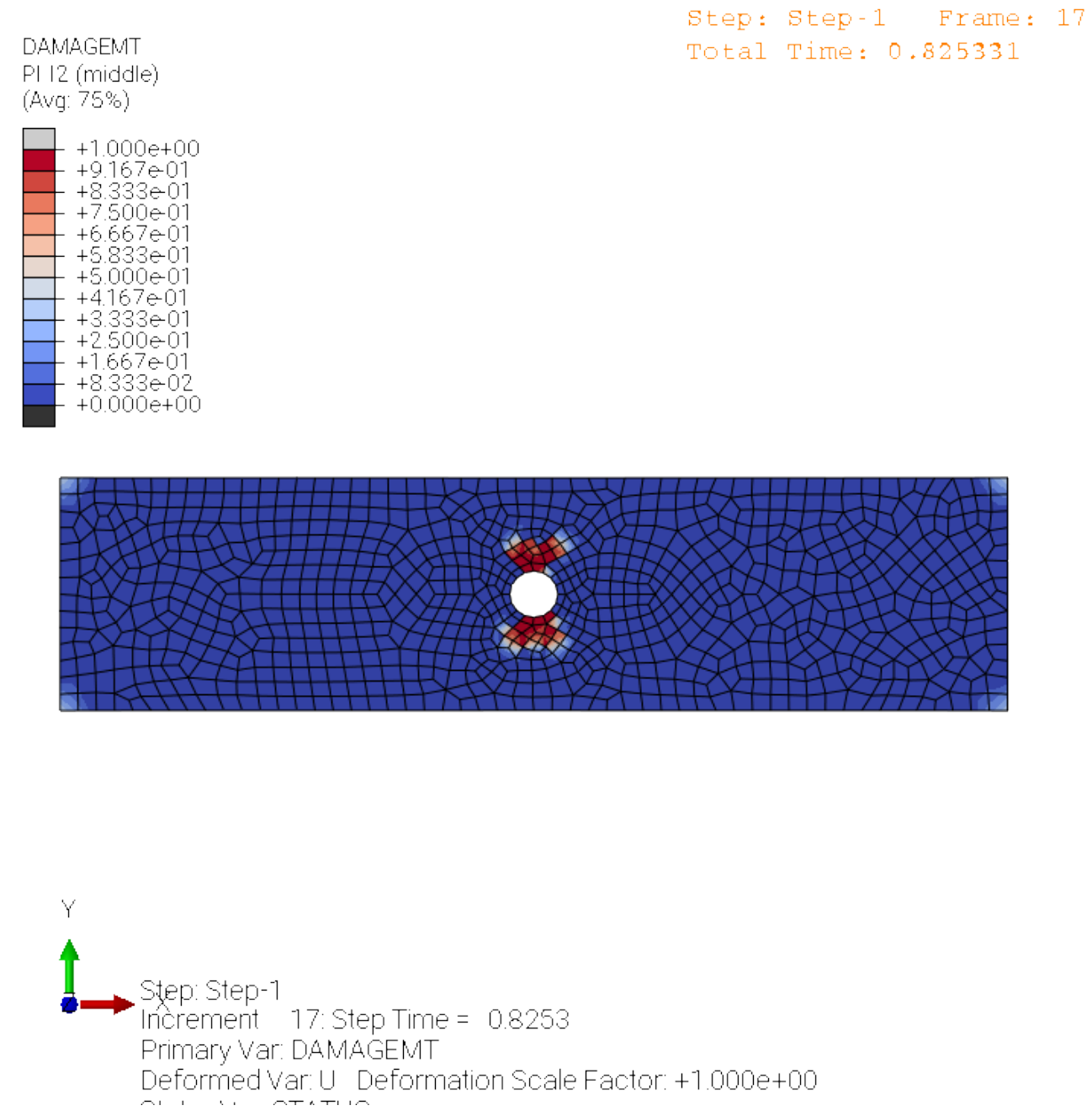




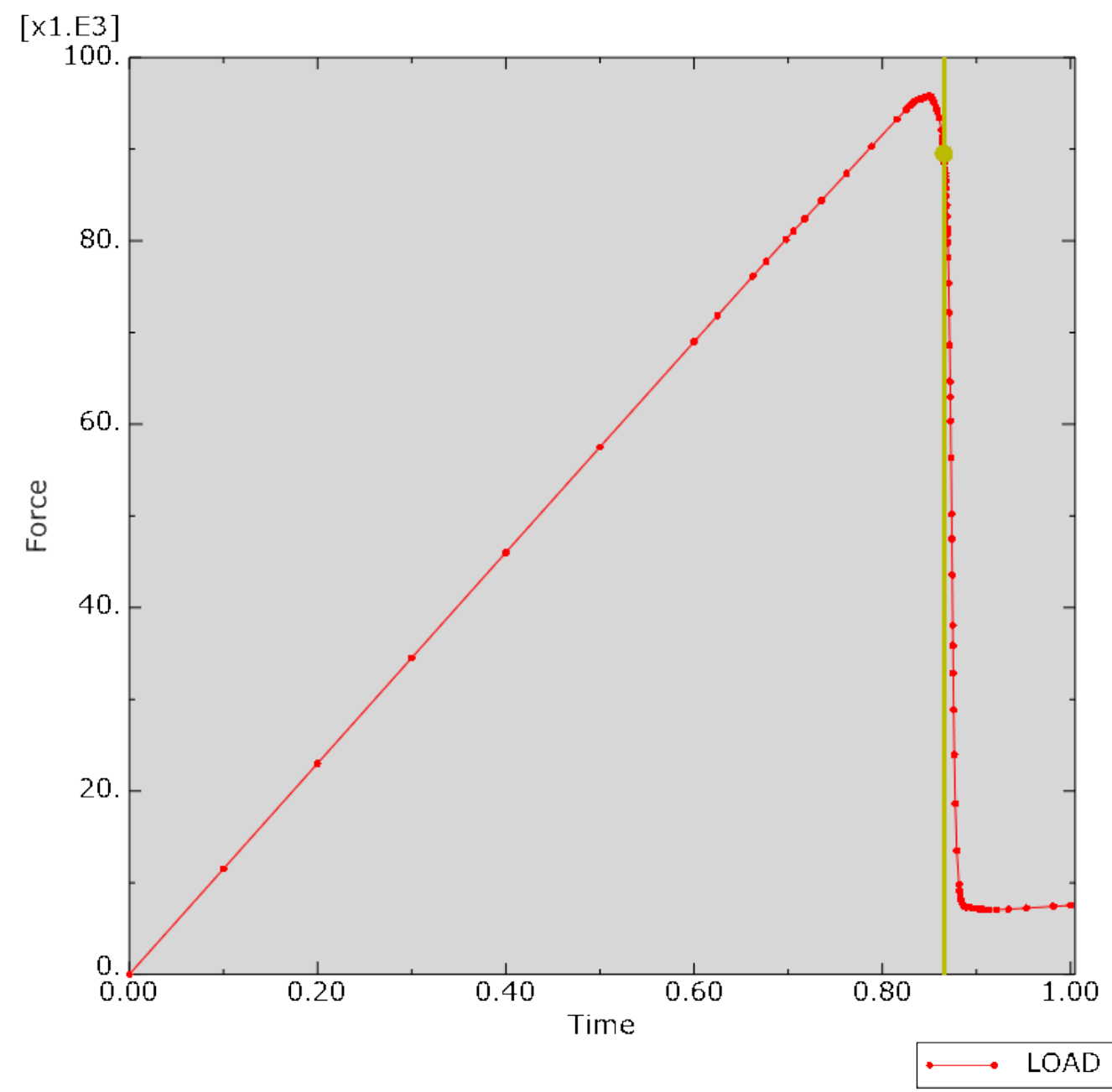
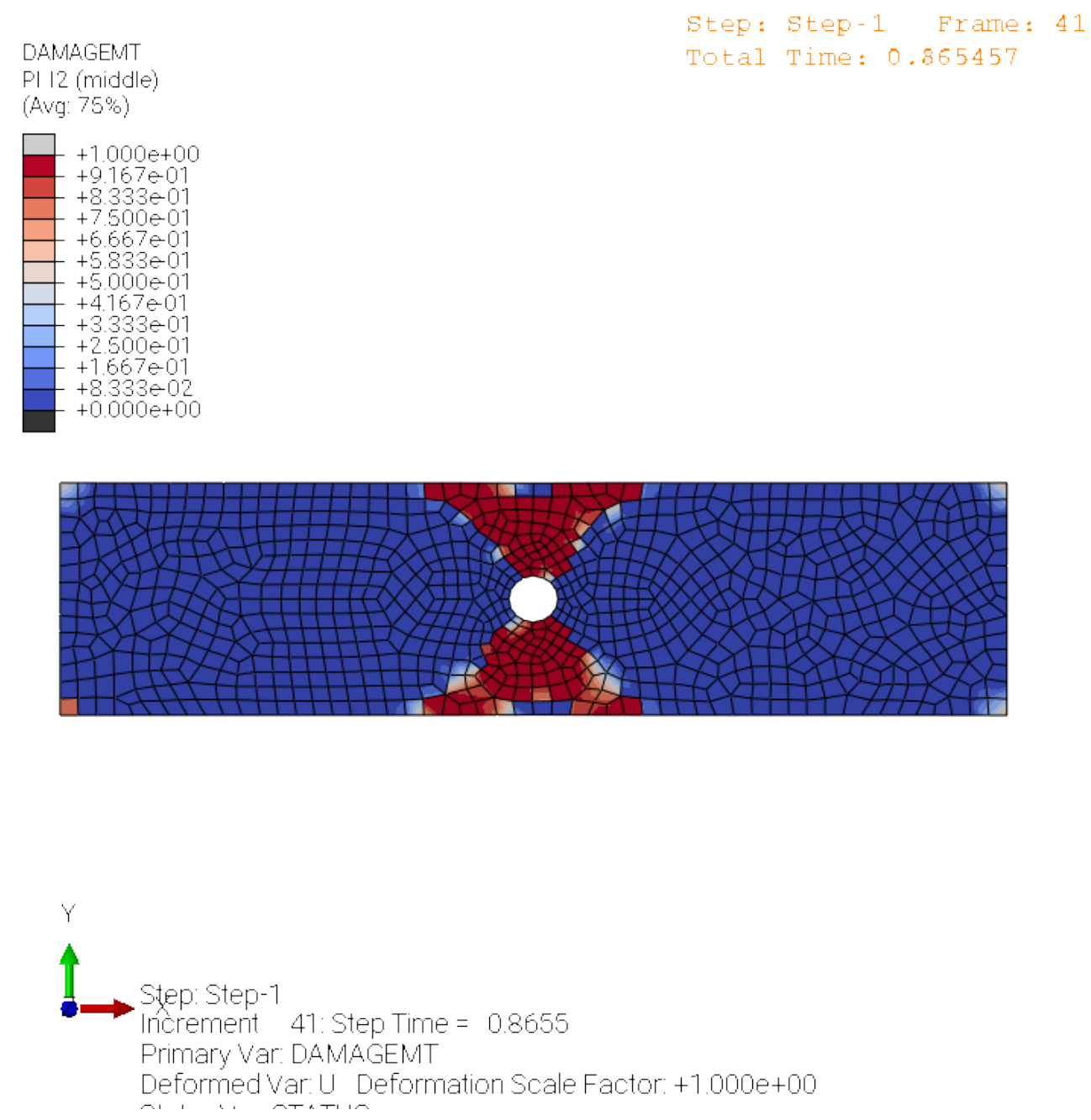












Refaire le même calcul avec le maillage `mesh2.inp` en augmentant le déplacement maximal à  $u_1 = 3\text{mm}$ .

...

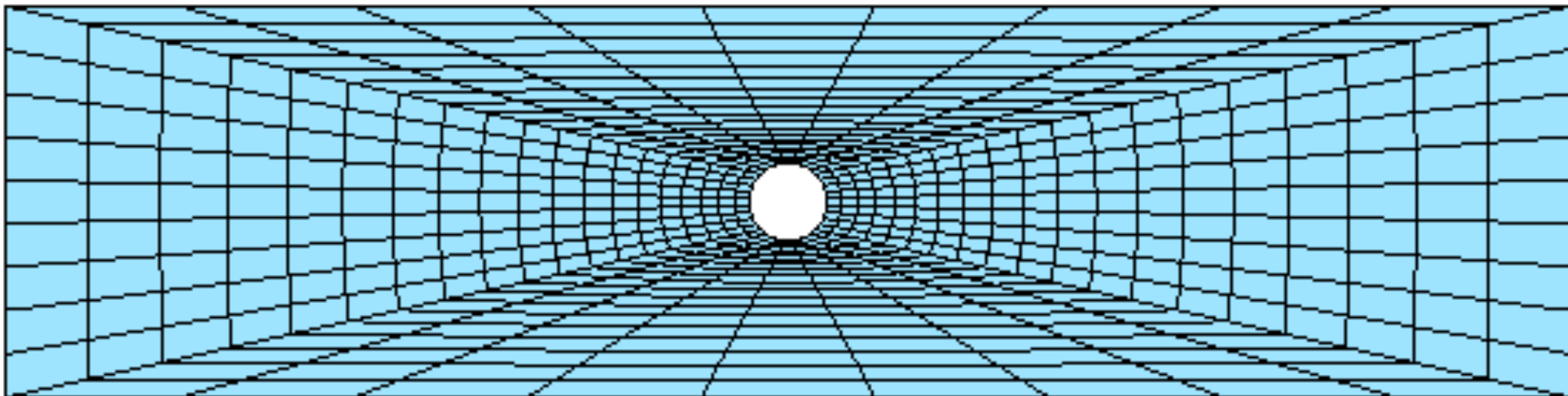
```
*include, input=mesh2.inp
```

...

```
*boundary
```

```
xmax, 1, 1, 3.0
```

...



Qu'observez-vous par rapport au maillage précédent?

Par rapport à la force maximale ? Par rapport à la propagation de l'endommagement ?  
Y a-t-il vraiment indépendance du résultat par rapport au maillage ?

Quel maillage utiliseriez-vous ? Pourquoi ?

