

Manuel de Validation**Fascicule V7.22 : Thermo-mécanique statique non linéaire des structures volumiques
Document V7.22.100****HSNV100 - Thermoplasticité en traction simple****Résumé :**

Ce test traite la thermo-plasticité de Von Mises avec écrouissage isotrope sur un problème tridimensionnel (modélisation A en axisymétrie) et bidimensionnel (modélisation B en contraintes planes). L'intérêt du test tient à la dépendance de la limite d'élasticité avec la température. Il permet également de tester l'orthotropie en thermo-élasticité car il s'applique à un matériau isotrope puis à un matériau isotrope déclaré orthotrope. Ceci permet de tester les fonctionnalités de l'orthotropie. On y teste aussi le calcul de l'énergie de déformation.

Deux modélisations (C avec élément TUYAU, D avec élément TUYAU_6M) sont ajoutées pour tester la thermoplasticité dans ces éléments.

Une modélisation (E) permet de tester la bonne prise en compte de la variation des coefficients du comportement VMIS_CINE_LINE avec la température.

Une modélisation (F) permet de tester le calcul de l'énergie de déformation thermoélastique dans les poutres.

La modélisation (G) permet de tester les mêmes fonctionnalités que les modélisations A et B, mais en 3D.

La solution est analytique.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Cylindre axisymétrique (modélisation A) ou plaque rectangulaire (modélisation B) ou tuyau droit (modélisations C et D)

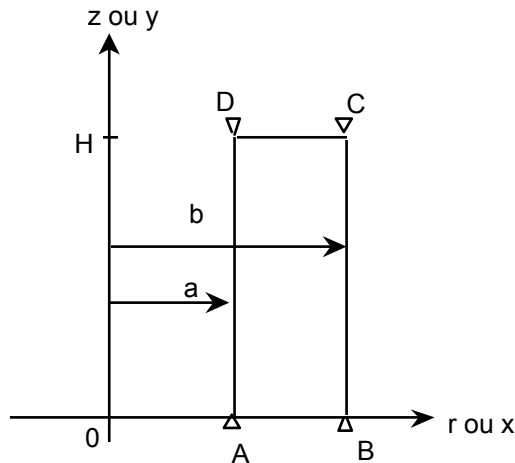


Figure 1.1-a : Géométrie de la structure

Rayon intérieur : $a = 1 \text{ mm}$

rayon extérieur : $b = 2 \text{ mm}$ (largeur AB : 1 mm)

hauteur : $H = 4 \text{ mm}$

1.2 Propriété des matériaux

$E = 200\,000 \text{ MPa}$ module d'Young

$E_T = 50\,000 \text{ MPa}$ module tangent

$\nu = 0.3$

$\sigma_y(T) = \sigma_0(1 - s(T - T_0))$ limite d'élasticité

$\sigma_0 = 400 \text{ MPa} = \sigma_y(T_0)$

$s = 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$\alpha = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ coefficient de dilatation thermique

$C^p = 0$ $J / (mm^3 \text{ } ^\circ\text{C})$ chaleur volumique

$\lambda = 10^{-3}$ $W / (mm \text{ } ^\circ\text{C})$ conductivité thermique

Pour le matériau isotrope déclaré orthotrope, il vient :

$$E_L = E_T = E_N = E$$

$$\nu_\text{L_T} = \nu_\text{L_N} = \nu_\text{T_N} = \nu$$

$$G_L_T = G_L_N = G_T_N = \frac{E}{2(1 + \nu)} = 76923,077$$

$$\alpha_\text{L} = \alpha_\text{T} \quad \alpha_\text{N} = \alpha$$

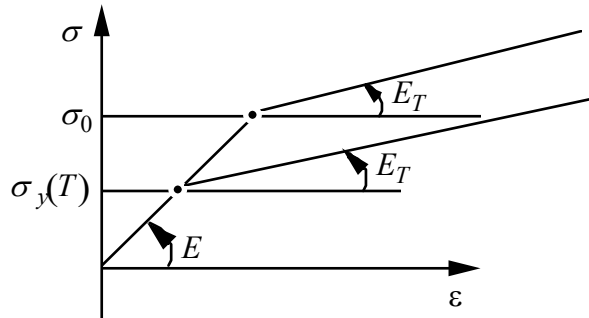


Figure 1.2-a : Courbe de traction du matériau

1.3 Conditions aux limites et chargements

Modélisation A en axisymétrique : $u_z = 0$ sur les côtés AB et CD (Axe Oz fixe)

Modélisation B en contraintes planes : $u_y = 0$ sur les côtés AB et CD, $u_x = 0$ en A

$T(t) = \theta t + T_0$ $\theta = 1^\circ\text{C/s}$ $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

Modélisations C et D : encastrement en A, $Dy = 0$ en C

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Cas axisymétrique (2D)

Champs de déplacement : $\mathbf{u} = u_r(r) \mathbf{e}_r$ (blocage en z)

Champs de déformation : $\varepsilon(\mathbf{u}) = \begin{pmatrix} u_r' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & u_r/r \end{pmatrix}$ selon $\begin{pmatrix} r \\ z \\ \theta \end{pmatrix}$

Champs de contraintes : $\sigma = \sigma_L \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ (cf. conditions aux limites) selon $\begin{pmatrix} r \\ z \\ \theta \end{pmatrix}$

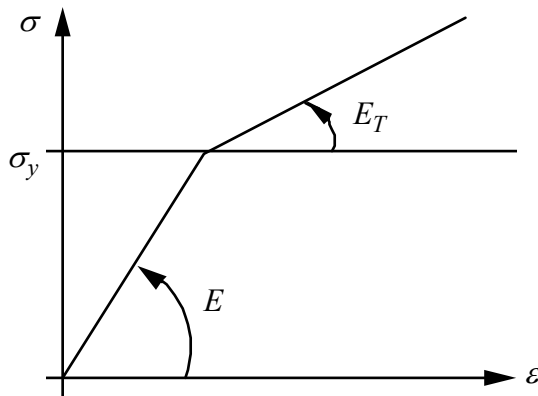
Cas parallélépipédique

Champs de déplacement : $\mathbf{u} = u_x(x) \mathbf{e}_x + u_y(y) \mathbf{e}_y$ (blocage en z)

Champs de déformation : $\varepsilon(\mathbf{u}) = \begin{pmatrix} u_x' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & u_y' \end{pmatrix}$ selon $\begin{pmatrix} x \\ z \\ y \end{pmatrix}$

Champs de contraintes : $\sigma = \sigma_L \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ (cf. conditions aux limites) selon $\begin{pmatrix} x \\ z \\ y \end{pmatrix}$

Le cas pourra être étudié en contraintes planes et en 3D.



$$2\mu = \frac{E}{1+\nu}$$

$$3K = \frac{E}{1-2\nu}$$

La loi de comportement s'écrit (variable interne scalaire p) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = \frac{1}{9K} \text{tr} \sigma \mathbf{Id} + \frac{1}{2\mu} \sigma^D + \varepsilon^p + \alpha(T - T^o) \mathbf{Id} \\ \text{avec : } \sigma^D = \sigma - \frac{1}{3} \text{tr} \sigma \mathbf{Id} \quad (\text{déviateur des contraintes}) \\ \dot{\varepsilon}^p = \frac{3}{2} \dot{p} \frac{\sigma^D}{\|\sigma\|_{\text{eq}}} \quad , \quad \text{avec } \|\sigma\|_{\text{eq}} = \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{\sigma^D \cdot \sigma^D} \\ \dot{p} = 0 \quad \text{si} \quad f(\sigma, p) = \|\sigma\|_{\text{eq}} - \mathcal{R}(p) < 0 \\ \dot{p} \geq 0 \quad \text{si} \quad f(\sigma, p) = 0 \end{array} \right.$$

$\mathcal{R}(p)$ désigne la fonction d'écrouissage :

$$\mathcal{R}(p) = \sigma_y + \frac{E E_T}{E - E_T} p$$

Le taux \dot{p} peut être exprimé, lorsque $f(\sigma, p) = 0$. En effet, de $\dot{p} f$ identiquement nul, on tire : $\dot{p} \dot{f} + \dot{p} f = 0$. Ainsi, quand on est sur le critère ($f = 0$), nécessairement $\dot{f} = 0$. C'est-à-dire :

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma^D \cdot \dot{\sigma}^D}{\|\sigma_{\text{eq}}\|} - \mathcal{R}_{,T} \cdot \dot{T} - \mathcal{R}_{,p} \dot{p} &= 0 \\ \Leftrightarrow \frac{3}{2} \frac{\sigma^D \cdot \dot{\sigma}^D}{\|\sigma_{\text{eq}}\|} + \sigma_y^o s \dot{T} - \frac{E E_T}{E - E_T} \cdot \dot{p} &= 0 \end{aligned}$$

D'où :

$$\dot{p} = \frac{E - E_T}{E E_T} \left(\frac{3}{2} \frac{\sigma^D \cdot \dot{\sigma}^D}{\|\sigma\|_{\dot{e}q}} + \sigma_y^o \cdot s \dot{T} \right) \quad \text{si } \dot{p} \geq 0 \quad , \quad \text{pour } \|\sigma\|_{\dot{e}q} = \mathcal{R}(p)$$

(critère atteint, en "charge")

Le champ de contraintes étant uniaxial, on a :

$$\sigma^D = \frac{\sigma_L}{3} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Ainsi :

$$\|\sigma\|_{\dot{e}q} = |\sigma_L|$$

et :

$$\dot{\varepsilon}^P = \frac{\dot{p}}{2} \cdot \text{sgn}(\sigma_L) \cdot \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

La relation de comportement conduit à :

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_{rr} = \dot{\varepsilon}_{\theta\theta} = -\frac{\nu}{E} \dot{\sigma}_L - \frac{\dot{p}}{2} \text{sgn}(\sigma_L) + \alpha \dot{T} (= \dot{\varepsilon}_{xx} = \dot{\varepsilon}_{yy} \text{ pour le cas du parallélépipède}) \\ \dot{\varepsilon}_{zz} = 0 = \frac{1}{E} \dot{\sigma}_L + \dot{p} \text{sgn}(\sigma_L) + \alpha \dot{T} \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_{rr} = \dot{\varepsilon}_{\theta\theta} = \frac{3}{2} \alpha \dot{T} + \frac{1-2\nu}{2E} \cdot \dot{\sigma}_L \\ \dot{p} = \text{sgn}(\sigma_L) \cdot \left(-\alpha \dot{T} - \frac{\dot{\sigma}_L}{E} \right) = 0 \quad \text{si } |\sigma_L| < \mathcal{R}(p) \\ = \text{Max} \left[0 ; \frac{E - E_T}{E E_T} \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma^D \cdot \dot{\sigma}^D}{\|\sigma\|_{\dot{e}q}} + \sigma_y^o s \dot{T} \right) \right] \quad \text{sinon} \end{cases}$$

C'est-à-dire, dans le cas $|\sigma_L| = \mathcal{R}(p)$ (critère atteint) :

$$\dot{p} = \text{Max} \left[0 ; \frac{E - E_T}{E E_T} \left(\text{sgn}(\sigma_L) \cdot \dot{\sigma}_L + \sigma_y^o s \dot{T} \right) \right]$$

2.1.1 Phase élastique

Au début du chargement thermique, $|\sigma_L|$ étant inférieur à σ_y , \dot{p} est nul.

D'où :

$$\dot{\sigma}_L = -E \alpha \dot{T} ; \quad \dot{\varepsilon}_{rr} = \dot{\varepsilon}_{\theta\theta} = \alpha \dot{T}(1+\nu).$$

Ainsi :

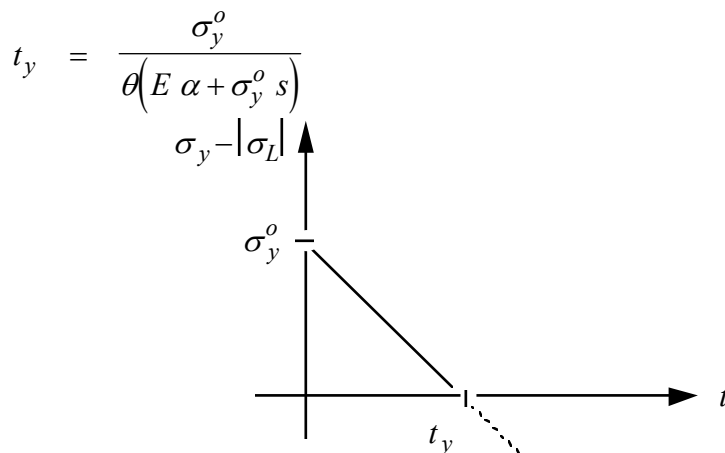
$$\begin{cases} \sigma_L = -E \alpha \theta t & (\text{compression } \sigma_L < 0) \\ \varepsilon_{rr} = \varepsilon_{\theta\theta} = \alpha \theta(1+\nu) t \end{cases}$$

Validité de la solution élastique

Le critère est :

$$|\sigma_L(t)| - \sigma_Y(t) = E \theta t - \sigma_y^o(1-s \theta t) \leq 0$$

Le critère n'est pas franchi pour $t \in [0, t_y]$, avec :



A l'instant t_y :

$$\sigma_L(t_y) = -\frac{E \alpha \sigma_y^o}{E \alpha + \sigma_y^o s}$$

La densité d'énergie de déformation vaut : $w(t_y) = -\frac{1}{2} E (\alpha \theta t)^2$

L'énergie de déformation totale vaut dans le cas parallélépipédique:

$$W(t_y) = -\frac{1}{2} E (\alpha \theta t)^2 \cdot (x_B - x_A) \cdot H$$

L'énergie de déformation totale vaut dans le cas axisymétrique: $W(t_y) = -\frac{1}{2} E (\alpha \theta t)^2 \cdot \frac{(r_B^2 - r_A^2)}{2} \cdot H$

(pour 1 radian)

2.1.2 Phase élastoplastique

$t \geq t_y$. On est sur le critère. Alors :

$$\dot{p} = \text{Max} \left[0 ; \frac{E - E_T}{E E_T} \left(\dot{\sigma}_L \text{sgn}(\sigma_L) + \sigma_y^o s \dot{T} \right) \right]$$

En admettant que l'on soit "en charge" ($\dot{p} > 0$), alors on élimine \dot{p} pour avoir :

$$\dot{\sigma}_L = -E_T \cdot \dot{T} \left(\alpha + \text{sgn}(\sigma_L) \cdot \frac{E - E_T}{E E_T} s \sigma_y^o \right)$$

puis :

$$\dot{p} = \frac{E - E_T}{E} \cdot \dot{T} \left(-\alpha \text{sgn}(\sigma_L) + \frac{s \sigma_y^o}{E} \right)$$

A $t = t_y$, $\sigma_L = -E \alpha \theta t_y < 0$; on intègre alors ces expressions pour $t \geq t_y$ ($\dot{T} = \theta$) :

$$\begin{cases} \sigma_L(t) = -E_T \theta (t - t_y) \left[\alpha - \frac{E - E_T}{E E_T} s \sigma_y^o \right] - \sigma_L(t_y) \\ p(t) = \frac{E - E_T}{E^2} \cdot \theta \left[\alpha E + s \sigma_y^o \right] (t - t_y) \end{cases}$$

Soit, après réarrangement, ($t \geq t_y$) :

$$\begin{cases} \sigma_L(t) = \sigma_y^o \left(s \theta t - 1 + \frac{E_T}{E} \left(1 - \frac{t}{t_y} \right) \right) \\ p(t) = \frac{\sigma_y^o (E - E_T)}{E^2} \left(\frac{t}{t_y} - 1 \right) \end{cases}$$

Validité de cette solution élastoplastique

Il faut s'assurer que $\sigma_L(t)$ reste négatif. Sachant que $s \theta t < 1$, et que $t > t_y$, le résultat précédent confirme que $\sigma_L(t) < 0$.

Enfin, on remarque que :

$$\text{sgn}(\sigma_L) \frac{1 - 2\nu}{2} \dot{p} + \dot{\varepsilon}_{rr} = \alpha(1 + \nu) \dot{T}$$

d'où :

$$\varepsilon_{rr}(t) = \varepsilon_{\theta\theta}(t) = \alpha \theta (1 + \nu) t + \frac{1 - 2\nu}{2} p(t) \quad , \quad \forall t \in [t_y, t_{fin}]$$

(puisque $\sigma_L(t) < 0$).

2.2 Résultats de référence

ε_{rr} ou ε_{xx} , σ_{zz} et p en t_y et au delà :

Phase élastique : pour $t < t_y$

$$\sigma_L = -E \alpha \theta t \quad \varepsilon_{rr} = \varepsilon_{\theta\theta} = \alpha \theta (1 + \nu) t \quad \text{en axisymétrie}$$

$$\varepsilon_{xx} = \alpha \theta (1 + \nu) t \quad \text{en contraintes planes.}$$

La limite élastique est atteinte en $t_y = \frac{\sigma_0}{\theta (E \alpha + \sigma_0 s)} = 66,666 \text{ s}$ d'où

$$\sigma_L(t_y) = -\frac{\sigma}{\left(1 + \sigma_0 \frac{s}{E \alpha}\right)}$$

Phase élastoplastique : pour $t \geq t_y$

$$\sigma_L(t) = \sigma_0 \left(s \theta t - 1 + \frac{E_T}{E} \left(1 - \frac{t}{t_y} \right) \right)$$

$$p(t) = \frac{\sigma_0 (E - E_T)}{E^2} \left(\frac{t}{t_y} - 1 \right)$$

$$\varepsilon_{rr} = \varepsilon_{\theta\theta} = \alpha \theta (1 + \nu) t + \frac{1 - 2\nu}{2} p(t) \quad \text{en axisymétrie}$$

$$\text{ou } \varepsilon_{xx} = \varepsilon_{\theta\theta} = \alpha \theta (1 + \nu) t + \frac{1 - 2\nu}{2} p(t) \quad \text{en contraintes planes}$$

$$\begin{cases} E = 200\,000 \text{ MPa} & ; \quad \nu = 0,3 & ; \quad \alpha = 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} & ; \quad \theta = 1.0 \text{ s}^{-1} \\ \sigma_y^0 = 400 \text{ MPa} & ; \quad T^0 = 0 \text{ }^\circ\text{C} & ; \quad s = 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} & ; \quad t_{fin} < 100 \text{ s} \\ E_T = 50\,000 \text{ MPa} \end{cases}$$

D'où :

$$\left. \begin{aligned} t_y &= 66.6666 \text{ s} \\ \sigma_L(t_y) &= -133.333 \text{ MPa} \\ \varepsilon_{rr}(t_y) &= \varepsilon_{\theta\theta}(t_y) = 0.866666 \cdot 10^{-3} \end{aligned} \right\} \text{phase élastique}$$

$$w = 4.44410 \cdot 10^{-2}$$

$$W = 0.17778 \text{ (PLAN ou 3D)}$$

$$W = 0.26666 \text{ (axi)}$$

Puis, phase élastoplastique :

$$\begin{aligned}\text{à } t = 80 \text{ s :} \quad & \sigma_L(80) = -100.0 \text{ MPa} \\ & p(80) = 0.3000.10^{-3} \\ & \varepsilon_{rr}(80) = \varepsilon_{\theta\theta}(80) = 1.100.10^{-3} \\ \text{à } t = 90 \text{ s :} \quad & \sigma_L(90) = -75.00 \text{ MPa} \\ & p(90) = 0.5250.10^{-3} \\ & \varepsilon_{rr}(90) = \varepsilon_{\theta\theta}(90) = 1.275.10^{-3}\end{aligned}$$

2.3 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

QUAD4 - Axisymétrique

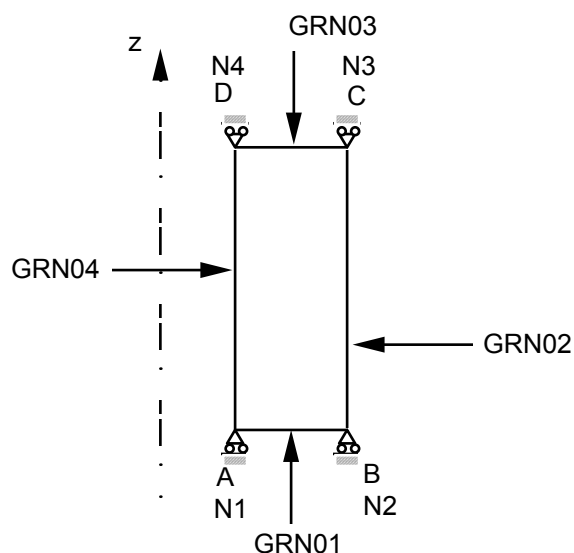


Figure 3.1-a : Modélisation A

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4

Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 4 SEG2

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes

DEFI_MATERIAU	ELAS_ORTH	
DEFI_MATERIAU	TRACTION	SIGM
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	TEMP_CALCULEE
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION VMIS_ISOT_TRAC
CALC_ELEM	OPTION	EPSI_ELNO_DEPL
CALC_ELEM	OPTION	EPOT_ELEM_DEPL
CALC_ELEM	OPTION	ENEL_ELGA
POST_ELEM	ENER_TOTALE	

3.4 Remarques

La fonctionnalité AFFE_CARTE est également testée mais ce n'est pas documenté dans le test.

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Variables	Instants (s)	Référence	Aster	% erreur relative	Tolérance
$\varepsilon_{rr} = \varepsilon_{\theta\theta}$	t = 66.666	8.6666 10 ⁻⁴	8.66658 10 ⁻⁴	0	0.1
	t = 80	1.1000 10 ⁻³	1.10029 10 ⁻³	0.026	0.1
	t = 90	1.2750 10 ⁻³	1.27529 10 ⁻³	0.023	0.1
p	t = 66.666	0	0	0	0.1
	t = 80	3.0000 10 ⁻⁴	3.0000 10 ⁻⁴	0	0.1
	t = 90	5.2500 10 ⁻⁴	5.2500 10 ⁻⁴	0	0.1
σ_{zz}	t = 66.666	-133.333	-133.332	-0.001	0.1
	t = 80	-100.000	-100.00	0	0.1
	t = 90	-75.000	-75.000	0	0.1
ENEL_ELGA	t = 66.666	4.444. 10 ⁻²	4.444. 10 ⁻²	0.00	0.1
ENER_TOTALE	t = 66.666	0.2666	0.2666	-0.00	0.1
ENER_POT	t = 66.666	0.2666	0.2666	-0.00	0.1

4.2 Remarque

On obtient bien les mêmes résultats avec le matériau isotrope déclaré orthotrope qu'avec le matériau isotrope en thermo-élasticité, c'est-à-dire pour le numéro d'ordre 1 à t = 66.666 s.

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

QUAD4 - Contraintes planes

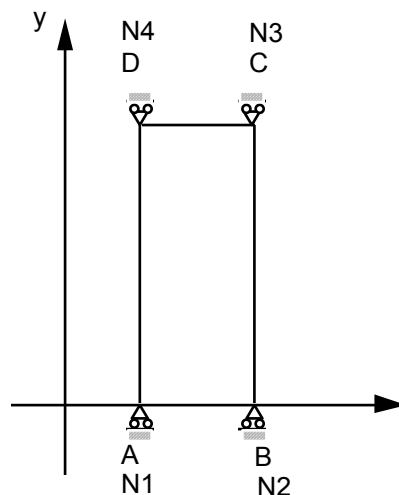


Figure 5.1-a : Modélisation B

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4

Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 4 SEG2

5.3 Fonctionnalités testées

Commandes

DEFI_MATERIAU	TRACTION	SIGM
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	TEMP_CALCULEE
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION VMIS_ISOT_TRAC
CALC_ELEM	OPTION	EPSI_ELNO_DEPL
CALC_ELEM	OPTION	EPOT_ELEM_DEPL
CALC_ELEM	OPTION	ENEL_ELGA
POST_ELEM	ENER_TOTALE	
POST_ELEM	ENER_POT	

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Variables	Instants (s)	Référence	Aster	% erreur relative	Tolérance
ε_{xx}	t = 66.666	8.6666 10 ⁻⁴	8.66658 10 ⁻⁴	0	0.1
	t = 80	1.1000 10 ⁻³	1.1000 10 ⁻³	0	0.1
	t = 90	1.2750 10 ⁻³	1.2750 10 ⁻³	0	0.1
p	t = 66.666	0	0	0	0.1
	t = 80	3.0000 10 ⁻⁴	3.0000 10 ⁻⁴	0	0.1
	t = 90	5.2500 10 ⁻⁴	5.2500 10 ⁻⁴	0	0.1
σ_{yy}	t = 66.666	-133.333	-133.332	-0.001	0.1
	t = 80	-100.	-100.00	0	0.1
	t = 90	-75.000	-75.00	0.001	0.1
ENEL_ELGA	t = 66.666	4.444. 10 ⁻²	4.444. 10 ⁻²	0.00	0.1
ENER_TOTALE	t = 66.666	0.17777	0.17777	-0.00	0.1
ENER_POT	t = 66.666	0.17777	0.17777	-0.00	0.1

7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

1 élément TUYAU



7.2 Caractéristiques du maillage

1 élément TUYAU

7.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE		MODELISATION	TUYAU
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION	VMIS_ISOT_TRAC
		TUYAU_NCOU	1
		TUYAU_NSEC	16

8 Résultats de la modélisation C

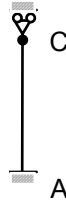
8.1 Valeurs testées

Variables	Instants (s)	Référence	Aster	% différence
p	t = 66.666	0	0	0
	t = 80	3.10^{-4}	3.00310^{-4}	0.1
	t = 90	5.2510^{-4}	5.2526	0.05
σ_{yy}	t = 66.666	-1.333	-1.3313	-0.16
	t = 80	-100	-99.82	-0.18
	t = 90	-75	-74.85	-0.2

9 Modélisation D

9.1 Caractéristiques de la modélisation

1 élément TUYAU 6M



9.2 Caractéristiques du maillage

1 élément TUYAU

9.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE		MODELISATION	TUYAU_6M
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION	VMIS_ISOT_TRAC
		TUYAU_NCOU	1
		TUYAU_NSEC	16

10 Résultats de la modélisation D

10.1 Valeurs testées

Variables	Instants (s)	Référence	Aster	% différence
p	t = 66.666	0	0	0
	t = 80	$3 \cdot 10^{-4}$	$3.003 \cdot 10^{-4}$	0.1
	t = 90	$5.25 \cdot 10^{-4}$	5.2526	0.05
σ_{yy}	t = 66.666	-1.333	-1.3313	-0.16
	t = 80	-100	-99.82	-0.18
	t = 90	-75	-74.85	-0.2

11 Modélisation E

11.1 Caractéristiques de la modélisation

QUAD4 - Axisymétrique. Test de la variation des coefficients de VMIS_CINE_LINE en fonction de la température, dans ce cas E_T (donné par D_SIGM_EPSI) varie comme : $E_T = 10^5 (1 - 10^{-2}(T - T_0))$. La

constante de Prager vaut : $C = \frac{2}{3} \frac{E E_T}{E - E_T}$.

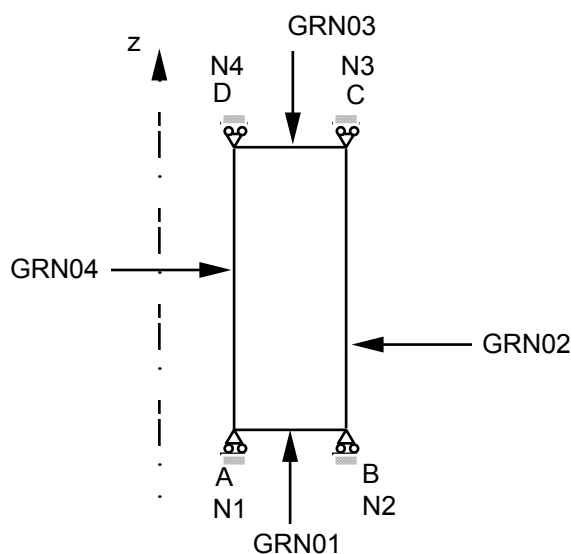


Figure 3.1-a : Modélisation E

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4

Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 4 SEG2

11.3 Fonctionnalités testées

Commandes

DEFI_MATERIAU	ECRO_LINE_FO	D_SIGM_EPSI	
DEFI_MATERIAU	PRAGER_FO	C	
DEFI_MATERIAU	TRACTION	SIGM	
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	TEMP_CALCULEE	
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION	VMIS_ECMI_TRAC
CALC_ELEM	OPTION	EPSI_ELNO_DEPL	
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION	VMIS_CINE_LINE

11.4 Remarque

On teste la variation de E_T (D_SIGM_EPSI) avec la température par comparaison avec le comportement VMIS_ECMI_TRAC où C (constante de Prager) varie avec la température de façon similaire (pas de solution analytique).

12 Résultats de la modélisation E

12.1 Valeurs testées

Variables	Instants (s)	Référence (Aster) (VMIS_ECMI_TRAC)	Aster (VMIS_CINE_LINE)	% erreur relative	Tolérance
$\varepsilon_{rr} = \varepsilon_{\theta\theta}$	t = 66.666	8.6666 10^{-4}	8.66658 10^{-4}	0	0.1
	t = 80	1.112 10^{-3}	1.112 10^{-3}	0	0.1
	t = 90	1.303 10^{-3}	1.303 10^{-3}	0	0.1
σ_{zz}	t = 66.666	-133.333	-133.332	0	0.1
	t = 80	-88	-88	0	0.1
	t = 90	-47	-47	0	0.1

12.2 Remarque

On obtient bien les mêmes résultats avec le comportement VMIS_CINE_LINE qu'avec le comportement VMIS_ECMI_TRAC ce qui valide la prise en compte de la température dans ce modèle.

13 Modélisation F

13.1 Caractéristiques de la modélisation

1 élément POU_D_T



13.2 Caractéristiques du maillage

1 maille SEG2

13.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE		MODELISATION	TUYAU_6M
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION	ELAS
CALC_ELEM	OPTION	EPOT_ELEM_DEPL	
POST_ELEM	ENER_POT		

14 Résultats de la modélisation D

14.1 Valeurs testées

Variables	Instants (s)	Référence	Aster	% différence
σ_{yy}	t = 66.666	-1.333	-1.3313	-0.16
ENER_POT	t = 66.666	0.3555	0.3555	0.00

15 Modélisation G

15.1 Caractéristiques de la modélisation

3D, H=1

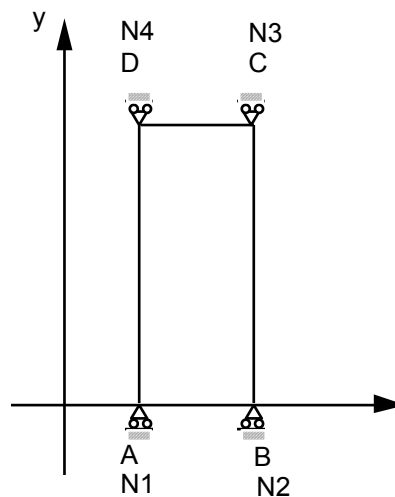


Figure 5.1-a : Modélisation G

15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles et types : 1 HEXA8

15.3 Fonctionnalités testées

Commandes

DEFI_MATERIAU	TRACTION	SIGM
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	TEMP_CALCULEE
STAT_NON_LINE	COMP_INCR	RELATION VMIS_ISOT_TRAC
CALC_ELEM	OPTION	EPSI_ELNO_DEPL
CALC_ELEM	OPTION	EPOT_ELEM_DEPL
CALC_ELEM	OPTION	ENEL_ELGA
POST_ELEM	ENER_TOTALE	
POST_ELEM	ENER_POT	

16 Résultats de la modélisation G

16.1 Valeurs testées

Variables	Instants (s)	Référence	Aster	% erreur relative	Tolérance
ε_{xx}	t = 66.666	8.6666 10 ⁻⁴	8.66658 10 ⁻⁴	0	0.1
	t = 80	1.1000 10 ⁻³	1.1000 10 ⁻³	0	0.1
	t = 90	1.2750 10 ⁻³	1.2750 10 ⁻³	0	0.1
p	t = 66.666	0	0	0	0.1
	t = 80	3.0000 10 ⁻⁴	3.0000 10 ⁻⁴	0	0.1
	t = 90	5.2500 10 ⁻⁴	5.2500 10 ⁻⁴	0	0.1
σ_{yy}	t = 66.666	-133.333	-133.332	-0.001	0.1
	t = 80	-100.	-100.00	0	0.1
	t = 90	-75.000	-75.00	0.001	0.1
ENEL_ELGA	t = 66.666	4.444. 10 ⁻²	4.444. 10 ⁻²	0.00	0.1
ENER_TOTALE	t = 66.666	4.444. 10 ⁻²	4.444. 10 ⁻²	-0.00	0.1
ENER_POT	t = 66.666	4.444. 10 ⁻²	4.444. 10 ⁻²	-0.00	0.1

17 Synthèse des résultats

Les résultats sont satisfaisants et valident les comportements thermoplastique de Von Mises avec écrouissage isotrope et cinématique linéaire. Les éléments finis utilisés sont les éléments 2D (quadrilatères en contraintes planes ou axisymétrie) et les éléments TUYAU.

On constate en particulier une bonne modélisation de la variation de la limite d'élasticité et de la constante de Prager avec la température.