SSNV126 - Éprouvette en traction-relaxation anisotherme avec le modèle VENDOCHAB

Résumé :

Le modèle VENDOCHAB, reprend une formulation proposée par Chaboche. Il s'agit d'une formulation couplée qui couvre une loi élasto-viscoplastique avec écrouissage isotrope multiplicatif et une cinétique d'endommagement isotrope. Cette loi a été initialement développée pour prédire la durée de vie et la fissuration des aubes des turboréacteurs et plus généralement pour prévoir le temps de ruine des structures sollicitées à hautes températures.

Ce test de mécanique quasi-statique non linéaire permet de valider le modèle VENDOCHAB en 3D dans le cas d'une éprouvette soumise à un essai de traction uniaxial anisotherme. Les états de contrainte et de déformation sont homogènes dans l'éprouvette. Ce test valide également l'intégration explicite et implicite de ce modèle. Les équations de cette formulation couplée sont décrites dans le fascicule de référence [R5.03.15].

Deux modélisations de l'éprouvette sont testées l'une avec un unique élément 3D à 8 nœuds (HEXA8), l'autre avec un quadrangle à 8 nœuds (QUAD8) en AXIS.

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

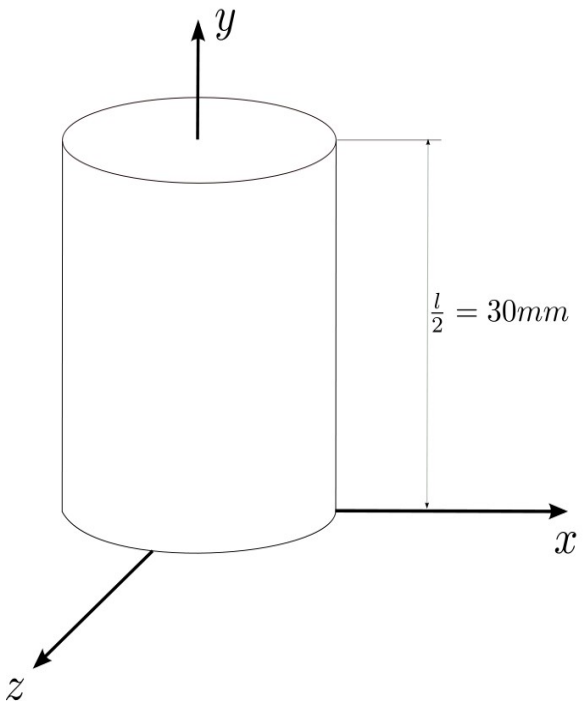
1 Problème de référence

Le problème mécanique traite du chargement à déplacement imposé (cas de la relaxation) d'une éprouvette axisymétrique sous condition anisotherme.

1.1 Géométrie

La géométrie de l'éprouvette cylindrique est définie par :
- rayon : r = 3 mm ;
- longueur : l = 60 mm.

Le plan (x,z) étant un plan de symétrie, on ne modélise que la moitié de l'éprouvette.
L'éprouvette est soumise à un champ uniforme de température qui peut varier dans le temps.



1.2 Propriétés du matériau

Les caractéristiques sont les suivantes :

Mot clé ELAS :
- $YOUNG = 150000.0\ MPa$
- $NU = 0.30$

Mot clé VENDOCHAB :
- $S_{VP} = 0,$
- $\alpha = 0\left(SEDVP1\right),$
- $\beta = 0\left(SEDVP2\right),$
- $N_{VP} = f\left(T\right),$
- $M_{VP} = f\left(T\right)$
- $K_{VP} = f\left(T\right)$
- $A_D = f\left(T\right),$

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

T(°C)	N_{vp}	M_{vp}	K_{vp}	R_D	A_D
900	12,2	10,5	2110	6,3	3191,62
1000	10,8	9,8	1450	5,2	2511,35
1025	10,45	9,625	1285	4,925	2341,30

Dans le cas où le coefficient K_D est seulement dépendant de la température (modélisation c et d).

T(°C)	900	1000	1025
K_D	15	15	15

Dans le cas où le coefficient K_D est choisi dépendant de la température et de σ_0 (modélisation A et B).

T(°C)	0 MPa	100 MPa	200 MPa
900	14,355	14,855	15,355
1000	14,5	15	15,5
1025	14,5363	15,0363	15,5363
1050	14,5725	15,0725	15,5725

Tableau 1.2-1: K_D dépendant de la température et de la contrainte

1.3 Conditions aux limites et chargements

1.3.1 Thermique

Le champ de température est homogène mais non stationnaire. Sa variation est la suivante : T est constant et vaut 1000°C de t=0s à t=200000s (55,55h) ; puis T augmente linéairement pour atteindre 1025°C à t=2000000s (555,55 h) ; T est ensuite constant à 1025°C.

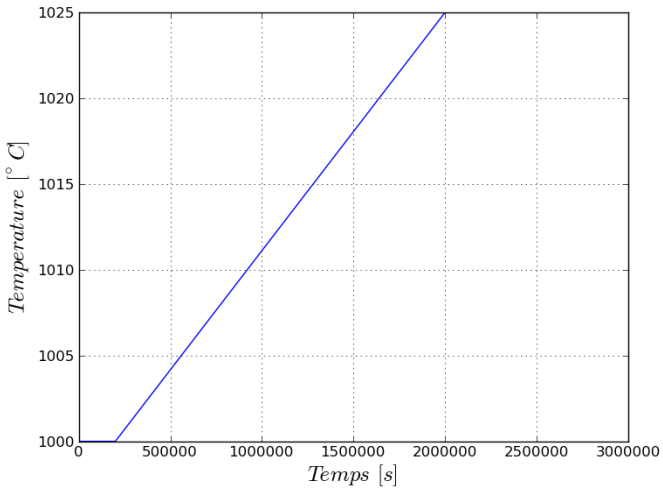


Image 1.3-1: Chargement thermique

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

1.3.2 Mécanique

Le plan de symétrie (z,x) impose un blocage de UY en y=0mm. Le chargement mécanique est UY=0,1 mm en z=30mm. La mise en charge n'est pas instantanée du fait de problèmes de convergence . On a choisi d'imposer la contrainte ou le déplacement linéairement dans le temps de manière à atteindre le chargement final en 0,1 secondes.

1.4 Conditions initiales

Contraintes et déformations nulles.

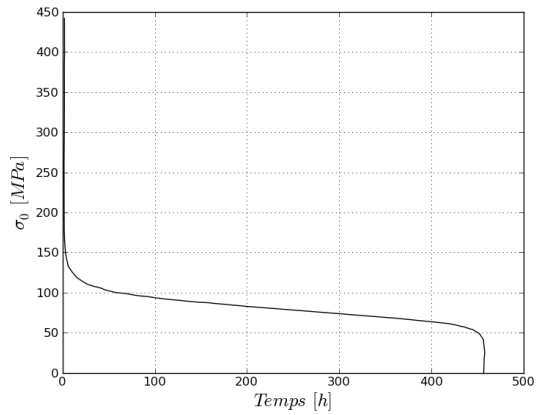
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

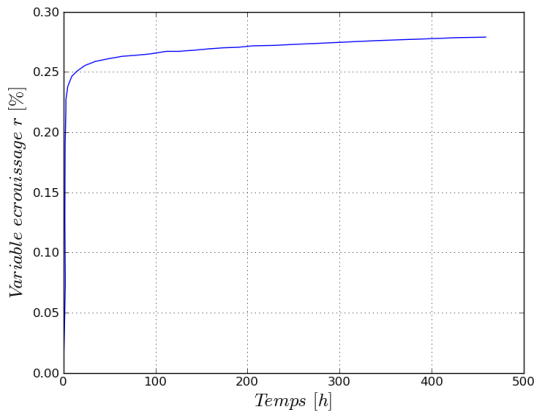
2.1 Méthode de calcul

La solution de référence est obtenue par intégration des équations du modèle sous Mathematica pour une modélisation axisymétrique. Pour cela, il suffit d'écrire les équations formelles du système, de leur appliquer la règle de transformation caractérisant la loi de Hooke et de résoudre le système différentiel non-linéaire. L'utilisateur souhaitant obtenir plus de renseignement pourra se rapporter à la note HT-2C/97/016/A

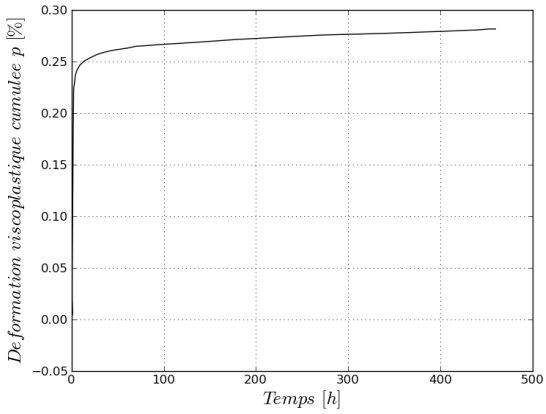
Voici les résultats d'intégration du comportement, suivant le cas où le coefficient K_D est choisi dépendant de la température et de σ_0 (modélisation a et b) :



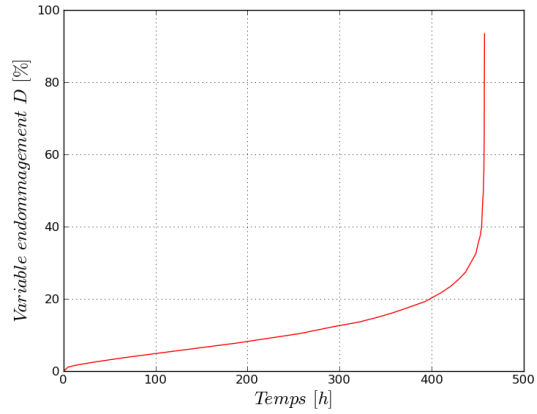
SIGM pour K_D(T,SIG)



r pour K_D(T,SIG)



p pour K_D(T,SIG)

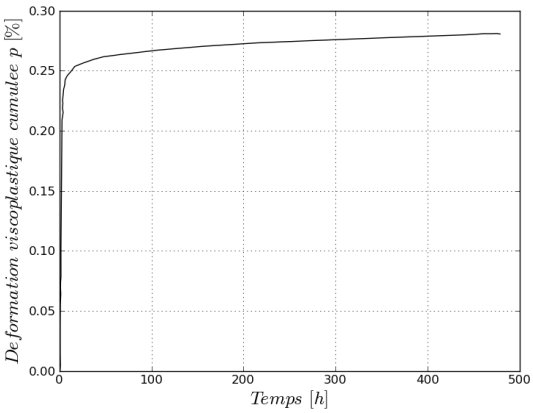


D pour K_D(T,SIG)

Voici les résultats d'intégration du comportement, suivant le cas où le coefficient K_D est choisi dépendant uniquement de la température (modélisation c et d) :

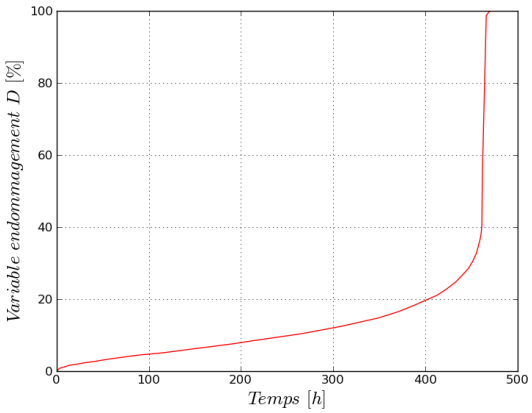
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

SIGM pour K_D(T)



p pour K_D(T)

r pour K_D(T)



D pour K_D(T)

Dans les graphiques ci-dessus, D est la variable d'endommagement correspondant à la variable interne $V9$, r est la variable d'écrouissage viscoplastique multiplicatif correspondant à la variable interne $V8$ et p est la déformation viscoplastique cumulée correspondant à la variable interne $V7$.

On a également la correspondance suivantes, par rapports aux paramètres du mot clé VENDOCHAB :

$N = N_{VP}$
$M = M_{VP}$
$K = K_{VP}$
$A = A_D$
$R = R_D$
$k = K_D$

2.2 Résultats de référence

2.2.1 Le coefficient K_D est choisi dépendant de la température et de σ_0.

Évolution de la contrainte, σ_0, en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Référence
20	252.76091
2000	164.261
200000	101.596
1000000	75.978499999999997
1600000	55.542099999999998

Tableau 2.2.1-1: Résultats de référence pour K_D(T,SIG)

Évolution de la variable d'endommagement, D en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants selon la modélisation :

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

Instant	Référence
20	2.3168400000000001E-4
2000	2.77144E-3
200000	0.032255100000000002
1000000	0.110134
1600000	0.28131600000000001

Tableau 2.2.1-2: Résultats de référence pour K_D(T,SIG)

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, r , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Référence
20	1.6445100000000001E-3
2000	2.2312600000000001E-3
200000	2.6251500000000001E-3
1000000	2.7477999999999999E-3
1600000	2.79276E-3

Tableau 2.2.1-3: Résultats de référence pour K_D(T,SIG)

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, p , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Référence
20	1.6445699999999999E-3
2000	2.2318799999999999E-3
200000	2.6301200000000001E-3
1000000	2.7607899999999999E-3
1600000	2.8147799999999998E-3

Tableau 2.2.1-4: Résultats de référence pour K_D(T,SIG)

2.2.2 Le coefficient K_D est choisi uniquement dépendant de la température .

Évolution de la contrainte, σ_0 , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Référence
20	253.02000000000001
2000	164.36000000000001
200000	102.16
1000000	79.920000000000002
1600000	70.900000000000006

Tableau 2.2.2-1: Résultats de référence pour K_D(T)

Évolution de la variable d'endommagement, D en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants selon la modélisation :

Instant	Référence
20	2.32E-4
2000	2.7399E-3
200000	0.027560999999999999
1000000	0.066266500000000006
1600000	0.090278800000000006

Tableau 2.2.2-2: Résultats de référence pour K_D(T)

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, r , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

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

Instant	Référence
20	1.6459999999999999E-3
2000	2.2339E-3
200000	2.6282800000000002E-3
1000000	2.7522900000000001E-3
1600000	2.7992999999999998E-3

Tableau 2.2.2-3: Résultats de référence pour K_D(T)

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, p , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Référence
20	1.6461E-3
2000	2.2344999999999999E-3
200000	2.6329000000000001E-3
1000000	2.762699E-3
1600000	2.8137000000000001E-3

Tableau 2.2.2-4: Résultats de référence pour K_D(T)

2.3 Incertitudes sur la solution

Précision des codes

2.4 Bibliographie

[1] HT-2C/97/016/A, Dupas P., Description de la loi de comportement viscoplastique couplée à la loi de comportement isotrope de Chaboche introduite dans le Code_Aster, 1997.

[2] Manuel de référence Aster R5.03.15, Comportement viscoplastique avec endommagement de Chaboche.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D.

Le coefficient K_D est choisi dépendant de la température et de σ_0 .

T(°C)	0 MPa	100 MPa	200 MPa
900	14,355	14,855	15,355
1000	14,5	15	15,5
1025	14,5363	15,0363	15,5363
1050	14,5725	15,0725	15,5725

Tableau 3.1-1: K_D de la modélisation A

La discrétisation en temps est assez fine :

```
( JUSQU_A = 2,          NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2.,         NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20.,        NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200.,       NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2000.,      NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20000.,     NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200000.,    NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 1000000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1600000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1700000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1800000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1900000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2000000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2100000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2200000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2300000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2400000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2500000.,   NOMBRE = 40),
```

3.2 Caractéristiques du maillage

On choisit de représenter l'éprouvette cylindrique par un pavé afin de pouvoir réaliser un calcul sur un seul élément. La modélisation possède 3 plans de symétrie

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 (HEXA8)

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

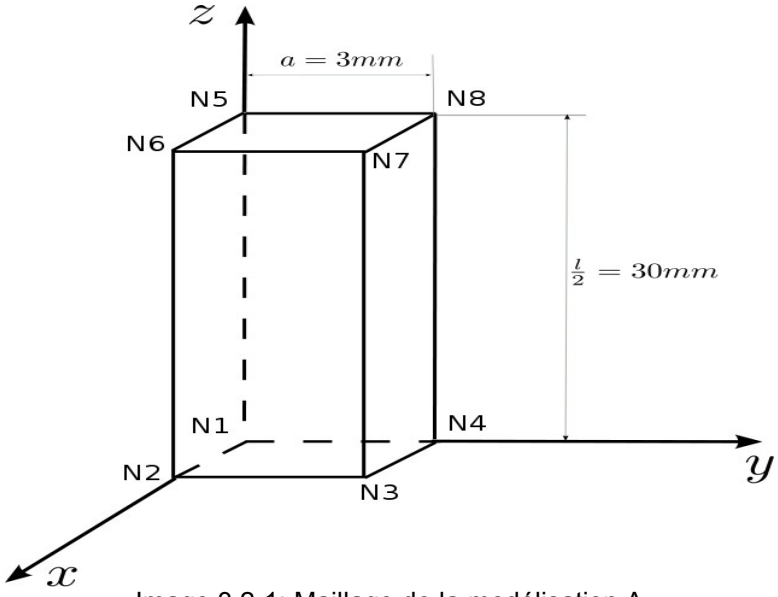


Image 3.2-1: Maillage de la modélisation A

3.3 Grandeurs testées et résultats

Deux calculs sont effectués, le premier avec un algorithme d'intégration explicite (ALGO_INTE='RUNGE_KUTTA'), le second avec un algorithme d'intégration implicite (ALGO_INTE='NEWTON').

Calcul en résolution explicite :

Évolution de la contrainte, σ_0, en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	252.76091	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	164.261	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	101.596	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	75.978499999999997	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	55.542099999999998	10.0

Tableau 3.3-1: Résultats de la modélisation A

Évolution de la variable d'endommagement, D en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants selon la modélisation :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	2.3168400000000001E-4	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.77144E-3	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	0.032255100000000002	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	0.110134	1.0
1600000	'ANALYTIQUE'	0.28131600000000001	10.0

Tableau 3.3-2: Résultats de la modélisation A

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, r, en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

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

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	1.6445100000000001E-3	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.2312600000000001E-3	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	2.6251500000000001E-3	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	2.7477999999999999E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.79276E-3	0.5

Tableau 3.3-3: Résultats de la modélisation A

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, p , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	1.6445699999999999E-3	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.2318799999999999E-3	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	2.6301200000000001E-3	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	2.7607899999999999E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.8147799999999998E-3	0.5

Tableau 3.3-4: Résultats de la modélisation A

Calcul en résolution implicite :

Évolution de la contrainte, σ_0 , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	252.76091	2.5
2000	'ANALYTIQUE'	164.261	2.5
200000	'ANALYTIQUE'	101.596	2.5

Tableau 3.3-5: Résultats de la modélisation A

Évolution de la variable d'endommagement, D en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants selon la modélisation :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	2.3168400000000001E-4	3.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.77144E-3	4.0
200000	'ANALYTIQUE'	0.032255100000000002	7.0

Tableau 3.3-6: Résultats de la modélisation A

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, r , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	1.6445100000000001E-3	2.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.2312600000000001E-3	1.0
200000	'ANALYTIQUE'	2.6251500000000001E-3	1.0

Tableau 3.3-7: Résultats de la modélisation A

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, p , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	1.6445699999999999E-3	2.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.2318799999999999E-3	1.0
200000	'ANALYTIQUE'	2.6301200000000001E-3	0.5

Tableau 3.3-8: Résultats de la modélisation A

Remarque : Ce calcul ne converge pas au-delà de l'instant 200000.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS.

Dans ce cas, le coefficient K_D est choisi dépendant de la température et de σ_0 .

T(°C)	0 MPa	100 MPa	200 MPa
900	14,355	14,855	15,355
1000	14,5	15	15,5
1025	14,5363	15,0363	15,5363
1050	14,5725	15,0725	15,5725

Tableau 4.1-1: K_D de la modélisation B

La discrétisation en temps est assez fine :

```
( JUSQU_A = 2,          NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2.,         NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20.,        NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200.,       NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2000.,      NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20000.,     NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200000.,    NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 1000000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1600000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1700000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1800000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1900000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2000000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2100000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2200000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2300000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2400000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2500000.,   NOMBRE = 40),
```

4.2 Caractéristiques du maillage

On choisit de représenter l'éprouvette cylindrique par un quadrangle à 8 nœuds en axisymétrie.

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 (QUAD8)

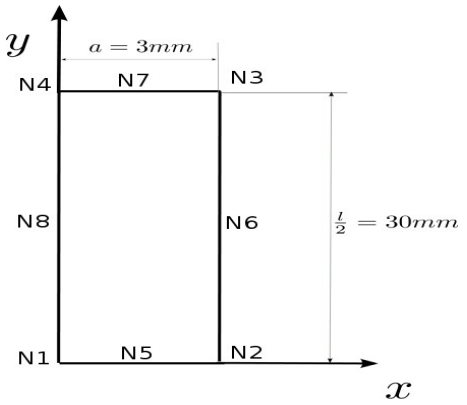


Image 4.2-1: Maillage de la modélisation B

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

4.3 Grandeurs testées et résultats

Évolution de la contrainte, σ_0 , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	75.978499999999997	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	55.542099999999998	10.0

Tableau 4.3-1: Résultats de la modélisation B

Évolution de la variable d'endommagement, D en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants selon la modélisation :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	0.110134	1.0
1600000	'ANALYTIQUE'	0.28131600000000001	10.0

Tableau 4.3-2: Résultats de la modélisation B

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, r , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	2.7477999999999999E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.79276E-3	0.5

Tableau 4.3-3: Résultats de la modélisation B

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, p , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	2.7607899999999999E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.8147799999999998E-3	0.5

Tableau 4.3-4: Résultats de la modélisation B

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D.

On effectue deux calculs qui ne diffèrent que par l'algorithme d'intégration : 'NEWTON' et 'RUNGE_KUTTA'.

Dans ce cas, le coefficient K_D est choisi uniquement dépendant de la température.

T(°C)	900	1000	1025
K_D	15	15	15

Tableau 5.1-1: K_D de la modélisation C

La discrétisation en temps est assez fine :

```
( JUSQU_A = 2,          NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2.,         NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20.,        NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200.,       NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2000.,      NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20000.,     NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200000.,    NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 1000000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1600000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1700000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1800000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1900000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2000000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2100000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2200000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2300000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2400000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2500000.,   NOMBRE = 40),
```

5.2 Caractéristiques du maillage

On choisit de représenter l'éprouvette cylindrique par un pavé afin de pouvoir réaliser un calcul sur un seul élément. La modélisation possède 3 plans de symétrie.

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 (HEXA8)

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

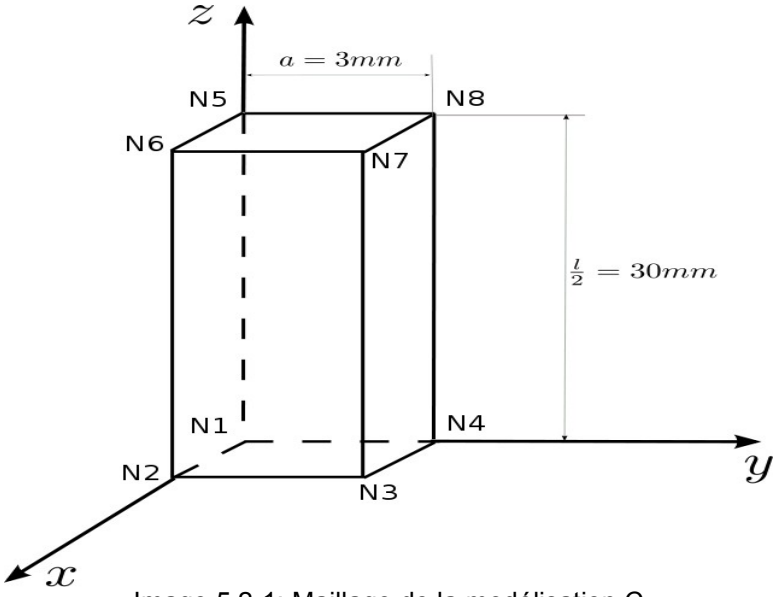


Image 5.2-1: Maillage de la modélisation C

5.3 Grandeurs testées et résultats

5.3.1 Cas RUNGE_KUTTA + Matrice ELASTIQUE

Évolution de la contrainte, σ_0 , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	253.02000000000001	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	164.36000000000001	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	102.16	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	79.920000000000002	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	70.900000000000006	1.0

Tableau 5.3.1-1: Résultats de la modélisation C

Évolution de la variable d'endommagement, D en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants selon la modélisation :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	2.32E-4	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.7399E-3	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	0.027560999999999999	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	0.066266500000000006	1.0
1600000	'ANALYTIQUE'	0.090278800000000006	1.0

Tableau 5.3.1-2: Résultats de la modélisation C

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, r , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

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

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	1.6459999999999999E-3	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.2339E-3	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	2.6282800000000002E-3	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	2.7522900000000001E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.7992999999999998E-3	0.5

Tableau 5.3.1-3: Résultats de la modélisation C

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope visco-plastique, p , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
20	'ANALYTIQUE'	1.6461E-3	0.5
2000	'ANALYTIQUE'	2.2344999999999999E-3	0.5
200000	'ANALYTIQUE'	2.6329000000000001E-3	0.5
1000000	'ANALYTIQUE'	2.762699E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.8137000000000001E-3	0.5

Tableau 5.3.1-4: Résultats de la modélisation C

5.3.2 Cas NEWTON + Matrice TANGENTE

Les grandeurs testées sont les mêmes que dans le cas précédent. Par contre la tolérance est de 4 % (pour toutes les valeurs testées).

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation AXIS.

On effectue deux calculs qui ne diffèrent que par l'algorithme d'intégration : 'NEWTON' et 'RUNGE_KUTTA'.

Dans ce cas, le coefficient K_D est choisi uniquement dépendant de la température.

T(°C)	900	1000	1025
K_D	15	15	15

Tableau 6.1-1: K_D de la modélisation D

La discrétisation en temps est assez fine :

```
( JUSQU_A = 2,          NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2.,         NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20.,        NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200.,       NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 2000.,      NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 20000.,     NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 200000.,    NOMBRE = 10),
( JUSQU_A = 1000000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1600000.,   NOMBRE = 30),
( JUSQU_A = 1700000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1800000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 1900000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2000000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2100000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2200000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2300000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2400000.,   NOMBRE = 40),
( JUSQU_A = 2500000.,   NOMBRE = 40),
```

6.2 Caractéristiques du maillage

On choisit de représenter l'éprouvette cylindrique par un quadrangle à 8 nœuds en axisymétrie.

Nombre de nœuds : 8
Nombre de mailles : 1 (QUAD8)

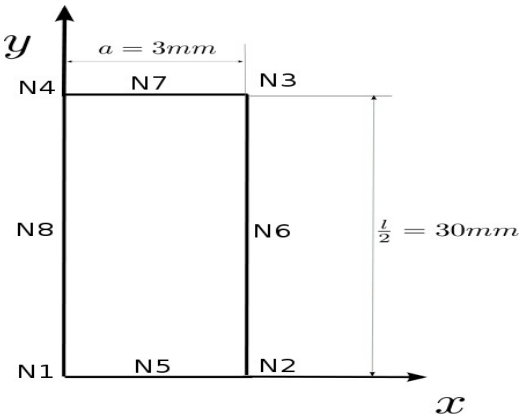


Image 6.2-1: Maillage de la modélisation D

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

6.3 Grandeurs testées et résultats

6.3.1 Cas RUNGE_KUTTA + Matrice ELASTIQUE

Évolution de la contrainte, σ_0 , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	79.922899999999998	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	70.902199999999993	1.0

Tableau 6.3.1-1: Résultats de la modélisation D

Évolution de la variable d'endommagement, D en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants selon la modélisation :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	0.066266580000000005	1.0
1600000	'ANALYTIQUE'	0.090278800000000006	1.0

Tableau 6.3.1-2: Résultats de la modélisation D

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, r , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	2.7477999999999999E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.7993599999999999E-3	0.5

Tableau 6.3.1-3: Résultats de la modélisation D

Évolution de la variable d'écrouissage isotrope viscoplastique, p , en fonction du temps. On teste cette valeur à différents instants :

Instant	Type de référence	Référence	Tolérance (%)
1000000	'ANALYTIQUE'	2.7522900000000001E-3	0.5
1600000	'ANALYTIQUE'	2.8137437999999999E-3	0.5

Tableau 6.3.1-4: Résultats de la modélisation D

6.3.2 Cas NEWTON + Matrice TANGENTE

Les grandeurs testées sont les mêmes que dans le cas précédent. Par contre la tolérance est de 4 % (pour toutes les valeurs testées).

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

7 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus avec *Code_Aster* sont proches de la solution de référence obtenue sur Mathematica. Cependant dans la modélisation A, on remarque que les résultats du calcul utilisant l'algorithme d'intégration implicite sont plus éloignés de la référence que ceux du calcul avec algorithme explicite et que le calcul ne converge pas au-delà de de l'instant $200000.$.

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