COMP010 – Validation thermo-mécanique des lois élastoviscoplastiques

Résumé

Ce test permet de valider la prise en compte de la variation de température dans les lois de comportement élastoviscoplastiques. Ces tests permettent de vérifier les deux points suivants :

- La dilatation thermique est bien calculée (avec prise en compte de la variation de la dilatation thermique avec la température)
- La variation des coefficients matériau avec la température est correcte, en particulier dans la résolution incrémentale du comportement,

Les lois de comportements validées sont les suivantes :

- Modélisation A : cette modélisation permet de valider le modèle GRAN_IRRA_LOG
- Modélisation B : cette modélisation permet de valider le modèle LEMAITRE
- Modélisation C : cette modélisation permet de valider le modèle LEMA_SEUIL
- Modélisation E : cette modélisation permet de valider le modèle LEMAITRE_IRRA
- Modélisation F : cette modélisation permet de valider le modèle VISC_IRRA_LOG
- Modélisation G : cette modélisation permet de valider le modèle VISC_TAHERI
- Modélisation H : cette modélisation permet de valider le modèle ROUSS_VISC
- Modélisation I : cette modélisation permet de valider le modèle VISCOCHAB
- Modélisation J : cette modélisation permet de valider le modèle META_LEMA_ANI

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

1 Méthodologie

Il s'agit d'une double simulation, la première en thermomécanique, la seconde en mécanique pure. La première sera validée en comparaison de la seconde, en supposant bien sûr que le comportement testé fournit une solution correcte en mécanique pure.

La première simulation (solution thermo-mécanique que l'on cherche à valider) consiste à appliquer une variation de température sur un point matériel, avec une déformation imposée nulle selon l'axe x

$$\varepsilon_{xx}^{1}=0 \quad (1)$$

La température imposée est croissante linéairement en fonction du temps. Le transitoire est constitué de NCAL pas . Selon les modélisations :

- Modélisations A , C , E , F : la température varie de $T_0=0\,°C$ à $T_{max}=500\,°C$ et la température de référence est de $T_{ref}=0\,°C$.
- Modélisations B , G : l a température varie de $T_0=20\,°C$ à $T_{max}=500\,°C$ et l a température de référence est de $T_{ref}=20\,°C$.
- Modélisation H : l a température varie de $T_0=20\,°C$ à $T_{max}=800\,°C$ et l a température de référence est de $T_{ref}=20\,°C$.
- Modélisation I : l a température varie de $T_0=20\,°C$ à $T_{max}=200\,°C$ et l a température de référence est de $T_{ref}=20\,°C$.
- Modélisation J : l a température varie de $T_0=700\,°C$ à $T_{max}=1000\,°C$ et l a température de référence est de $T_{ref}=700\,°C$.

La seconde simulation (qui doit être équivalente à la première) consiste à appliquer au même point matériel une déformation imposée suivant x telle que :

$$\varepsilon_{xx}^{2}=-\varepsilon^{th}=-\alpha(T)(T-T_{ref}) \quad (2)$$

en mécanique pure sur les NCAL instants du calculs thermomécanique. A chaque calcul i , le chargement imposé est constitué de la déformation thermique

$$\varepsilon_{xx}^{2}=-\varepsilon^{th}=-\alpha(T_i)(T_i-T_{ref}) \quad (3)$$

Le chargement initial est constitué des déformations, contraintes et variables internes du calcul mécanique précédent, les contraintes étant corrigées de la variation du module de Young

En effet, pour tout comportement (en supposant la décomposition additive des déformations) :

$$\sigma_{xx}=E(T)(\varepsilon_{xx}-\varepsilon^{th}-\varepsilon_{xx}^{p}) \quad (4)$$

D ans le premier cas :

$$\sigma_{xx}^{1}=E(T)(0-\varepsilon^{th}-\varepsilon_{xx}^{p}) \quad (5)$$

D ans le second cas :

$$\sigma_{xx}^{2}=E(T)(\varepsilon-\varepsilon_{xx}^{p}) \quad (6)$$

Il suffit donc, à chaque instant d'appliquer, pour le calcul mécanique, $\varepsilon_{xx}=-\varepsilon^{th}=-\alpha(T)(T-T_{ref})$.

De plus, pour obtenir les mêmes résultats dans les deux cas, il est nécessaire, à chaque pas de temps de la seconde simulation, d'effectuer le calcul mécanique pur avec des coefficients dont les valeurs sont interpolées en fonction de la température à l'instant courant. Cette interpolation est effectuée dans le fichier de commandes du test, dans une boucle en temps extérieure à SIMU_POINT_MAT / STAT_NON_LINE .

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

2 Interprétation des résultats

Il s'agit de vérifier avec TEST_TABLE que le résultat obtenu à chaque instant du transitoire thermo mécanique de la première simulation est identique au résultat obtenu avec la deuxième simulation.

La validation se fait par la comparaison entre les champs calculés à chaque pas du transitoire d'une part et le résultat d'un calcul mécanique d'autre part. La valeur de référence étant la composante du champ extraite à un instant donné i de la première simulation thermomécanique effectuée sur NCAL instants. La valeur calculée est celle obtenue à la fin du calcul mécanique $i+1$ de la boucle sur les NCAL.

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

3 Modélisation A

3.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée 'GRAN_IRRA_LOG', est documentée dans la doc R5.03.09 . C'est une loi de comportement de fluage et de grandissement sous irradiation pour les assemblages combustibles, similaire à la loi 'VISC_IRRA_LOG' pour la déformation viscoplastique, qui intègre en plus une déformation de grandissement sous irradiation.
Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=0\,°C$	$T=500\,°C$
$E(T)$	$1.\text{E}5\,MPa$	$0.8\text{E}5\,MPa$
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.E-5\,K^{-1}$	$2.\text{E}-5\,K^{-1}$
A	$1.28\text{E}-1$	$1.28\text{E}-1$
B	0.01159	0.01159
C	0.	0.
ω	0.3540	0.3540
Φ	1.	1.
Q	5000.	5000.
a	$-1.51\text{E}-16$	$-1.51\text{E}-16$
b	$1.542\text{E}-13$	$1.542\text{E}-13$
s	0.396	0.396

3.2 Grandeurs testées et résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	201.09766	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-201.09766	0.10%
RESU_19	V1	AUTRE_ASTER	7.486279	0.10%

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

4 Modélisation B

4.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée 'LEMAITRE', est documentée dans la doc R5.03.08 . Il s'agit d'une loi viscoplastique non-linéaire de LEMAITRE sans seuil. Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20\,°C$	$T=500\,°C$
$E(T)$	$1.E5\,MPa$	$2.E5\,MPa$
$\nu(T)$	$0.$	$0.$
$\alpha(T)$	$2.E-5\,K^{-1}$	$2.E-5\,K^{-1}$
$N(T)$	10.8	8.0
$1/K(T)$	$6.9E\text{-}4\,(MPa)^{-1}$	$4.0E\text{-}4\,(MPa)^{-1}$
$1/M(T)$	0.102	0.05

4.2 Grandeurs testées et résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	1037.97825	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-1037.97825	0.10%
RESU_19	V1	AUTRE_ASTER	4.410109E-3	0.10%

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

5 Modélisation C

5.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée ' LEMA_SEUIL ', est documentée dans la doc R5.03.08 . Il s'agit d'une loi viscoplastique avec seuil sous irradiation pour les assemblages combustibles. Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=0\,°C$	$T=500\,°C$
$E(T)$	1.E5 MPa	0.8E5 MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	1.0E-4 K^{-1}	2.0E-4 K^{-1}
$A(T)$	1.0E-10	0.5E-10
$S(T)$	40.	20.

5.2 Résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	499.998221	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-499.998221	0.10%
RESU_19	V1	AUTRE_ASTER	3.557036E-8	0.10%
RESU_19	V2	AUTRE_ASTER	10.421848	0.10%

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

6 Modélisation E

6.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée ' LEMAITRE_IRRA ', est documentée dans la doc R5.03.08 . Il s'agit d'une loi de comportement de fluage et de grandissement sous irradiation pour les assemblages combustibles. Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=0\,°C$	$T=500\,°C$
$E(T)$	$2.\text{E}5\,MPa$	$1.\text{E}5\,MPa$
$\nu(T)$	$0.$	$0.$
$\alpha(T)$	$1.E-5\,K^{-1}$	$2.E-5\,K^{-1}$
$N(T)$	2.3364	2.3364
$1/K(T)$	$1.\text{E-}6\,(MPa)^{-1}$	$1.\text{E-}6\,(MPa)^{-1}$
$1/M(T)$	0.207060772	0.207060772
L	$0.$	$0.$
$PHI\ ZERO$	4.240281E+21	4.240281E+21
$BETA$	1.2	1.2
QSR_K	3321.093	3321.093

Enfin le dernier paramètre GRAN_FO dépend à la fois de la température et de l'irradiation :
$GRAN_{FO}(T,IRRA)=(1.51\text{E-}14\,T+1.542\text{E-}11)\,IRRA^{0.396}$

Les valeurs d'irradiation en fonction des instants sont les suivantes :

INST	IRRA
0	0
0.5	0
1	2

6.2 Résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	1000	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-1000	0.10%

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

7 Modélisation F

7.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée ' VISC_IRRA_LOG ', est documentée dans la doc R5.03.0 9 . Il s'agit d'une l oi de fluage axial sous irradiation des assemblages combustibles . Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=0\,°C$	$T=500\,°C$
$E(T)$	$195000\,MPa$	$195000\,MPa$
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.E-5\,K^{-1}$	$2.E-5\,K^{-1}$
A	1.28E-1	1.28E-1
B	0.01159	0.01159
$CSTE_{TPS}$	0.3540	0.3540
$ENER_{ACT}$	5000.	5000.

Les valeurs d'irradiation en fonction des instants sont les suivantes :

INST	IRRA
0	0
1	2

7.2 Résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	167.4176463232	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-167.417646323	0.10%
RESU_19	V1	AUTRE_ASTER	0.009141447967	0.10%
RESU_19	V2	AUTRE_ASTER	2.0	0.10%

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

8 Modélisation G

8.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée ' VISC_ TAHERI ', est documentée dans la doc R5.03.0 5 . Il s'agit d'une loi d e comportement (visco)-plastique modélisant la réponse de matériaux sous chargement plastique cyclique, et en particulier permettant de représenter les effets de rochet. Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20\,°C$	$T=500\,°C$
$E(T)$	$200000\,MPa$	$180000\,MPa$
$\nu(T)$	$0.$	$0.$
$\alpha(T)$	$1.E-5\,K^{-1}$	$2.E-5\,K^{-1}$
$S(T)$	450	400
$C_{INF}(T)$	0.065	0.060
$C1(T)$	-0.012	-0.010
$B(T)$	$30.$	$20.$
$M(T)$	0.1	0.15
$A(T)$	312	200
$ALPHA(T)$	0.3	0.25
$R_0(T)$	72	50

8.2 Résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	97.35056018605	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-97.3505601864	0.10%
RESU_19	V1	AUTRE_ASTER	0.009059163554	0.10%
RESU_19	V2	AUTRE_ASTER	100.6132392828	0.10%
RESU_19	V9	AUTRE_ASTER	2.0	0.10%

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

9 Modélisation H

9.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée ' ROUSS_VISC ', est documentée dans la doc R5.03.0 6 . Il s'agit d'une loi de comportement élastoviscoplastique qui permet de rendre compte de la croissance des cavités et de décrire la rupture ductile dans les aciers . Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20\,°C$	$T=800\,°C$
$E(T)$	$210000\,MPa$	$100000\,MPa$
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.E-5\,K^{-1}$	$2.E-5\,K^{-1}$
$SIGM_1(T)$	500	450
$F0(T)$	5E-4	3E-4
$D(T)$	1.5	2.5
$BETA$	1.	1.
$SIGM_0$	800	800
$EPSI_0$	1.E-2	1.E-2
M	2	2

9.2 Résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	709.6547269161	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-709.654726916	0.10%
RESU_19	V1	AUTRE_ASTER	0.008504714329	0.10%
RESU_19	V2	AUTRE_ASTER	0.000498871829	0.10%
RESU_19	V3	AUTRE_ASTER	0.122920605821	0.10%
RESU_19	V5	AUTRE_ASTER	1.0	0.10%

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

10 Modélisation I

10.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée ' VISCOCHAB ', est documentée dans la doc R5.03. 12 . Il s'agit d'une loi de comportement élastoviscoplastique de Chaboche à 2 variables cinématiques . Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20\,°C$	$T=200\,°C$
$E(T)$	$150000\,MPa$	$100000\,MPa$
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.E-5\,K^{-1}$	$2.E-5\,K^{-1}$
$K(T)$	25	40
$ALPHA_K(T)$	1.	1.
$ALPHA_R(T)$	0.5	0.8
$K_0(T)$	60	80
$N(T)$	30	15
B	15	15
MR	2	2
$GAMMA_R(T)$	2.5E-7	2.5E-7
$MU(T)$	22	16
$Q0(T)$	40	45
$Qm(T)$	500	400
$Qr0(T)$	150	250
$ETA(T)$	0,06	0,03
$C1$	1600	1600
$m1(T)$	3	6
$d1(T)$	0.360E-3	0.420E-3
$gx1(T)$	2.5E-13	1.5E-13
$g10(T)$	40	60
$C2$	55000	55000
$m2(T)$	5	3,5
$d2(T)$	0.50E-1	0.60E-1
$gx2(T)$	0.8E-12	1.5E-12
$g20(T)$	1500	1000
AI	0,41	0,56

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

10.2 Résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	VMIS (MPa)	AUTRE_ASTER	146.8715755775	0.10%
RESU_19	TRACE (MPa)	AUTRE_ASTER	-146.871575577	0.10%
RESU_19	V1	AUTRE_ASTER	-2.14217961397	0.10%
RESU_19	V2	AUTRE_ASTER	1.071089806986	0.10%
RESU_19	V3	AUTRE_ASTER	1.071089806986	0.10%

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

11 Modélisation J

11.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée ' META_LEMA_ANI ', est documentée dans la R4.04.04 pour la prise ne compte de la métallurgie et dans R4.04.05 pour ce qui est de sa description mécanique. Il s'agit d'une loi de Lemaitre sans seuil avec prise en compte du changement de phase métallurgique.
Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=700\,°C$	$T=1000\,°C$
$E(T)$	8.E4 MPa 4.E4 MPa	
$\nu(T)$	0.35	
F1_A	2.39	
F2_A	0.22	
C_A	9.36	
F1_M	0.0	
F2_M	0.77E-04	
C_M	0.99E-04	
F1_N	4.39	
F2_N	2.96	
C_N	6.11	
F1_Q	19922.8	
F2_Q	21023.7	
C_Q	6219	
F_MRR_RR C_MRR_RR F_MTT_TT C_MTT_TT F_MZZ_ZZ C_MZZ_ZZ	1	
F_MRT_RT C_MRT_RT F_MRZ_RZ C_MRZ_RZ F_MTZ_TZ C_MTZ_TZ	0.75	
F_ALPHA C_ALPHA	0.0	
TDEQ	809	
K	1.135E-2	
NEQ	2.187	
T1C	831	
T2C	0.0	
QSR_K	14614.	
AC	1.58E-4	

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

M	4.7
T1R	949.1
T2R	0.
AR	-5.725
BR	0.05

11.2 Résultats

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_19	SIYY (MPa)	AUTRE_ASTER	-11.816	0.10%
RESU_19	V7	AUTRE_ASTER	0.00570	0.10%

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