

## 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

## 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  $T_0=0^\circ\text{C}$  à  $T_{max}=500^\circ\text{C}$  et la température de référence est de  $T_{ref}=0^\circ\text{C}$  .
- Modélisations  $B$  ,  $G$  : la température varie de  $T_0=20^\circ\text{C}$  à  $T_{max}=500^\circ\text{C}$  et la température de référence est de  $T_{ref}=20^\circ\text{C}$  .
- Modélisation  $H$  : la température varie de  $T_0=20^\circ\text{C}$  à  $T_{max}=800^\circ\text{C}$  et la température de référence est de  $T_{ref}=20^\circ\text{C}$  .
- Modélisation  $I$  : la température varie de  $T_0=20^\circ\text{C}$  à  $T_{max}=200^\circ\text{C}$  et la température de référence est de  $T_{ref}=20^\circ\text{C}$  .
- Modélisation  $J$  : la température varie de  $T_0=700^\circ\text{C}$  à  $T_{max}=1000^\circ\text{C}$  et la température de référence est de  $T_{ref}=700^\circ\text{C}$  .

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) :

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

Dans le premier cas :

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

Dans 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` .

## 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`.

### 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	$T=0^{\circ}C$	$T=500^{\circ}C$
$E(T)$	1.E5 MPa	0.8E5 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
$C$	0.	0.
$\omega$	0.3540	0.3540
$\Phi$	1.	1.
$Q$	5000.	5000.
$a$	$-1.51E-16$	$-1.51E-16$
$b$	$1.542E-13$	$1.542E-13$
$s$	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%

## 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	$T=20^{\circ}C$	$T=500^{\circ}C$
$E(T)$	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
$1/K(T)$	$6.9E-4 (MPa)^{-1}$	$4.0E-4 (MPa)^{-1}$
$1/M(T)$	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%

## 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	$T=0^{\circ}C$	$T=500^{\circ}C$
$E(T)$	1.E5 MPa	0.8E5 MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	1.0E-4 K <sup>-1</sup>	2.0E-4 K <sup>-1</sup>
$A(T)$	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%

## 6 Modélisation J

### 6.1 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée 'META\_LEMA\_ANI', est documentée dans la R 4 .0 4 .0 4 pour la prise en compte de la métallurgie et dans R 4 .0 4 .0 5 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	$T = 700^{\circ}C$	$T = 1000^{\circ}C$
$E(T)$	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	

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

## 6.2 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%