COMP009 – Validation thermo-mécanique de la modélisation BARRE

Résumé

Ce test permet de valider la prise en compte de la variation de température dans les lois de comportement disponibles avec la modélisation BARRE. Ces tests permettent de vérifier les 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:

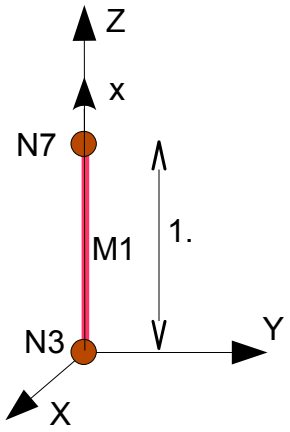
- Modélisation A : cette modélisation permet de valider le modèle ELAS,
- Modélisation B : cette modélisation permet de valider le modèle VMIS_ISOT_LINE,
- Modélisation C : cette modélisation permet de valider le modèle VMIS_ISOT_TRAC,
- Modélisation D : cette modélisation permet de valider le modèle VMIS_CINE_LINE,
- Modélisation F : cette modélisation permet de valider le modèle PINTO_MENEGOTTO,

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

1 Méthodologie

Le maillage utilisé est composé d'une seule maille SEG2, sur laquelle on affecte une modélisation de type BARRE. Les extrémités de la barre sont encastrées, aucune déformation axiale n'est possible.

Nœuds N3 et N7 : $DX=DY=DZ=0.$
Section : $A=1.$



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 que l'on cherche à valider) consiste à appliquer une variation de température sur l'élément BARRE , en bloquant par exemple les déplacements suivant l'axe x local : $\varepsilon_{xx}=0$. La température imposée est croissante linéairement en fonction du temps.

La seconde simulation (qui doit être équivalente à la première) consiste à appliquer à l'élément une déformation imposée suivant la direction x : $\varepsilon_{xx}=-\varepsilon^{th}=-\alpha(T)(T-T_{ref})$, en mécanique pure. En effet, pour tout comportement (en supposant la décomposition additive des déformations) on a :

$\sigma_{xx}=E(T)(\varepsilon_{xx}-\varepsilon^{th}-\varepsilon^{p}_{xx})$ avec pour effort normal $N=A\sigma_{xx}$

dans le premier cas, $\sigma_{xx}=E(T)(0-\varepsilon^{th}-\varepsilon^{p}_{xx})$, et dans le second : $\sigma_{xx}=E(T)(\varepsilon_{xx}-\varepsilon^{p}_{xx})$.

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 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.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

3.1.1 Simulation 1

Il s'agit d'un test thermomécanique avec une déformation imposée nulle selon l'axe x local. Le test s'effectue sur un élément de BARRE avec la commande STAT_NON_LINE. La température varie de $T_0=20$ à $T_{max}=500°C$. Le transitoire est constitué de NCAL pas.
La température de référence est de $T_{ref}=20°C$.

3.1.2 Simulation 2

Il s'agit d'effectuer une boucle sur NCAL calculs mécaniques. A chaque calcul i, le chargement imposé est constitué de la déformation thermique $\varepsilon_{xx}=-\varepsilon_{th}=-\alpha(T)(T_i-T_{Ref})$. Le chargement initial est constitué des déformations, contraintes (effort normal) et variables internes du calcul mécanique précédent.

3.2 Propriétés du matériau

La loi de comportement testée est 'ELAS'. Cette loi est élastique.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$E(T)$, $\nu(T)$ et $\alpha(T)$

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	200000. MPa	100000. MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	1.E−5 K^{-1}	2.E−5 K^{-1}

3.3 Grandeurs testées et résultats

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 commande utilisée est TEST_TABLE qui teste la valeur de référence par rapport à la valeur calculée.

La valeur de référence étant la composante du champ extraite à un instant donné i de la première simulation thermo mécanique effectuée sur NCAL instants. La valeur calculée est celle obtenue à la fin du calcul mécanique $i+1$ de la boucle sur les NCAL.

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_i	NOM_PARA		VALE_REF	TOLE

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

RESU_4	N	NON_REGRESSION	-960.	0.1%

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

4.1.1 Simulation 1

Il s'agit d'un test thermomécanique avec une déformation imposée nulle selon l'axe x. Le test s'effectue sur un élément de BARRE avec la commande STAT_NON_LINE. La température varie de $T_0=20°C$ à $T_{max}=500°C$. Le matériau arrive à plastification. Le transitoire est constitué de NCAL pas. La température de référence est de $T_{ref}=20°C$.

4.1.2 Simulation 2

Il s'agit d'effectuer une boucle sur NCAL calculs mécaniques. A chaque calcul i, le chargement imposé est constitué de la déformation thermique $\varepsilon_{xx}=-\varepsilon_{th}=-\alpha(T)(T_i-T_{Ref})$. Le chargement initial est constitué des déformations, contraintes et variables internes du calcul mécanique précédent.

4.2 Propriétés du matériau

La loi de comportement testée est 'VMIS_ISOT_LINE' documentée dans la doc [R5.03.09]. Cette loi est à écrouissage isotrope linéaire symétrique.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$E(T)$, $\nu(T)$ et $\alpha(T)$

Les paramètres élastoplastiques sont les suivants :

$\sigma_y(T)$, $E_T(T)$

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	200000. MPa	100000. MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	10^{-5} K^{-1}	$2.\times10^{-5}$ K^{-1}
$\sigma_y(T)$	100. MPa	50. MPa
$E_T(T)$	10000. MPa	5000. MPa

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

4.3 Grandeurs testées et résultats

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 commande utilisée est TEST_TABLE qui teste la valeur de référence par rapport à la valeur calculée.

La valeur de référence étant la composante du champ extraite à un instant donné i de la première simulation thermo mécanique effectuée sur NCAL instants. La valeur calculée est celle obtenue à la fin du calcul mécanique $i+1$ de la boucle sur les NCAL.

Resultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
RESU_i	NOM_PARA		VALE_REF	TOLE
RESU_19	N	NON_REGRESSION	-95.5	0.1%
RESU_19	V1	NON_REGRESSION	8.645E-03	0.1%

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

5.1.1 Simulation 1

Il s'agit d'un test thermomécanique avec une déformation imposée nulle selon l'axe x. Le test s'effectue sur un élément de BARRE avec la commande STAT_NON_LINE. La température varie de $T_0=20°C$ à $T_{max}=500°C$. Le matériau arrive à plastification. Le transitoire est constitué de NCAL pas. La température de référence est de $T_{ref}=20°C$.

5.1.2 Simulation 2

Il s'agit d'effectuer une boucle sur NCAL calculs mécaniques. A chaque calcul i, le chargement imposé est constitué de la déformation thermique $\varepsilon_{xx}=-\varepsilon_{th}=-\alpha(T)(T_i-T_{Ref})$. Le chargement initial est constitué des déformations, contraintes et variables internes du calcul mécanique précédent.

5.2 Propriétés du matériau

La loi de comportement testée est 'VMIS_ISOT_TRAC' documentée dans la doc [R5.03.09]. Cette loi est à écrouissage isotrope non-linéaire.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$E(T)$, $\nu(T)$ et $\alpha(T)$

Les paramètres élastoplastiques sont les suivants :

$\sigma(\varepsilon,T)$

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	200000. MPa	100000. MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.E-5$ K^{-1}	$2.E-5$ K^{-1}

Paramètre	Température	$\varepsilon=0.005$	$\varepsilon=1.005$
$\sigma(\varepsilon,T)$	$20°C$	1000. MPa	3000. MPa
	$500°C$	800. MPa	2000. MPa

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

5.3 Grandeurs testées et résultats

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 commande utilisée est TEST_TABLE qui teste la valeur de référence par rapport à la valeur calculée.

La valeur de référence étant la composante du champ extraite à un instant donné i de la première simulation thermo mécanique effectuée sur NCAL instants. La valeur calculée est celle obtenue à la fin du calcul mécanique $i+1$ de la boucle sur les NCAL.

Resultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
RESU_i	NOM_PARA		VALE_REF	TOLE
RESU_19	N	NON_REGRESSION	-801.926	0.1%
RESU_19	V1	NON_REGRESSION	1.5807E-3	0.1%

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

6.1.1 Simulation 1

Il s'agit d'un test thermomécanique avec une déformation imposée nulle selon l'axe x. Le test s'effectue sur un élément de BARRE avec la commande STAT_NON_LINE. La température varie de $T_0=20°C$ à $T_{max}=100°C$. Le matériau arrive à plastification. Le transitoire est constitué de NCAL pas. La température de référence est de $T_{ref}=20°C$.

6.1.2 Simulation 2

Il s'agit d'effectuer une boucle sur NCAL calculs mécaniques. A chaque calcul i, le chargement imposé est constitué de la déformation thermique $\varepsilon_{xx}=-\varepsilon_{th}=-\alpha(T)(T_i-T_{Ref})$. Le chargement initial est constitué des déformations, contraintes et variables internes du calcul mécanique précédent.

6.2 Propriétés du matériau

La loi de comportement testée est 'VMIS_CINE_LINE' documentée dans la doc [R5.03.09]. Cette loi est à écrouissage cinématique linéaire symétrique.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$E(T)$, $\nu(T)$ et $\alpha(T)$

Les paramètres élastoplastiques sont les suivants:

$\sigma_y(T)$, $E_T(T)$

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	2.E11 Pa	1.E11 Pa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	1.E−5 K^{-1}	2.E−5 K^{-1}
$\sigma_y(T)$	2.E8 Pa	1.E8 Pa
$E_T(T)$	2.E9 Pa	1.E9 Pa

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

6.3 Grandeurs testées et résultats

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 commande utilisée est TEST_TABLE qui teste la valeur de référence par rapport à la valeur calculée.

La valeur de référence étant la composante du champ extraite à un instant donné i de la première simulation thermo mécanique effectuée sur NCAL instants. La valeur calculée est celle obtenue à la fin du calcul mécanique $i+1$ de la boucle sur les NCAL.

Resultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
RESU_i	NOM_PARA		VALE_REF	TOLE
RESU_19	N	NON_REGRESSION	-1.086E8	0.1%
RESU_19	V1	NON_REGRESSION	-8.6E6	

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

7 Modélisation F

7.1 Caractéristiques de la modélisation

7.1.1 Simulation 1

Il s'agit d'un test thermomécanique avec une déformation imposée nulle selon l'axe x. Le test s'effectue sur un élément de BARRE avec la commande STAT_NON_LINE. La température varie de $T_0=20°C$ à $T_{max}=100°C$. Le matériau arrive à plastification. Le transitoire est constitué de NCAL pas. La température de référence est de $T_{ref}=20°C$.

7.1.2 Simulation 2

Il s'agit d'effectuer une boucle sur NCAL calculs mécaniques. A chaque calcul i, le chargement imposé est constitué de la déformation thermique $\varepsilon_{xx}=-\varepsilon_{th}=-\alpha(T)(T_i-T_{Ref})$. Le chargement initial est constitué des déformations, contraintes et variables internes du calcul mécanique précédent.

7.2 Propriétés du matériau

La loi de comportement testée est 'PINTO_MENEGOTTO' documentée dans la doc [R5.03.09]. Cette loi est isotherme uniaxiale élasto-plastique modélisant la réponse des armatures en acier dans le béton armé sous chargement cyclique.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$E(T)$, $\nu(T)$ et $\alpha(T)$

Les paramètres élastoplastiques sont les suivants:

σ_y^0, ε_u, σ_u, ε_h, b, $R0$, $a1$, $a2$, L/D, $a6$, c, a

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètres	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	2.1 $E11$ Pa	1.E11 Pa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	1.E−5 K^{-1}	2.E−5 K^{-1}

Paramètres	
σ_y^0	2.E8 Pa
ε_u	3.E−2
σ_u	2.58E8 Pa
ε_h	0.0023
b	0.01
$R0$	20.

Paramètres	
$a1$	18.5
$a2$	0.15
L/D	4.9
$a6$	620.
c	0.5
a	0.008

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

7.3 Grandeurs testées et résultats

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 commande utilisée est TEST_TABLE qui teste la valeur de référence par rapport à la valeur calculée.

La valeur de référence étant la composante du champ extraite à un instant donné i de la première simulation thermo mécanique effectuée sur NCAL instants. La valeur calculée est celle obtenue à la fin du calcul mécanique $i+1$ de la boucle sur les NCAL.

Resultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
RESU_i	NOM_PARA		VALE_REF	TOLE
RESU_19	N	NON_REGRESSION	-2.58E8	0.1%
RESU_19	V4	NON_REGRESSION	-9.6E-2	
RESU_19	V5	NON_REGRESSION	-7.08E-3	

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

8 Synthèse des résultats

Pour chacune des lois de comportement étudiées, les résultats du transitoire thermo mécanique de la première simulation sont comparés avec ceux obtenus avec la deuxième simulation en mécanique pure. Les résultats sont concordants, ce qui montrent la bonne prise en compte de la dilatation thermique par ces lois de comportement, ainsi que la bonne dépendance des paramètres matériaux à la température.

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