COMP007 – Validation thermo-mécanique des lois élastiques non-linéaires (COMPORTEMENT)

Résumé

Ce test permet de valider les lois de comportement thermo-élastiques définies sous COMPORTEMENT. Il permet 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.

Les 4 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 ELAS_VMIS_LINE,
- Modélisation C : cette modélisation permet de valider le modèle ELAS_VMIS_PUIS,
- Modélisation D : cette modélisation permet de valider le modèle ELAS_VMIS_TRAC.

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

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

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

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

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 Simulation 1

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

3.2 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.

3.3 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée est 'ELAS' documentée dans la documentation [R4.01.02].

Les paramètres élastiques sont les suivants :

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

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètre	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	200000. MPa	100000. MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.\times10^{-5}\ K^{-1}$	$2.\times10^{-5}\ K^{-1}$

3.4 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 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.

Résultat au numéro d'ordre i	Nom du paramètre testé	Type de référence	Valeur de référence	tolérance
RESU_i	NOM_PARA		VALE_REF	TOLE
RESU_4	VMIS	NON_REGRESSION	960.	0.1%
RESU_4	TRACE	NON_REGRESSION	-960.	0.1%

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

4 Modélisation B

4.1 Simulation 1

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

4.2 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.

4.3 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée est 'ELAS_VMIS_LINE', est documentée dans la documentation [R7.02.03].

C'est une loi de comportement élastique "non linéaire" (loi de HENCKY) de VON MISES à écrouissage isotrope linéaire.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$$E(T),\ \nu(T),\ \alpha(T),\ \sigma_y(T),\ E_T(T)$$

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètre	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	200000. MPa	100000. MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.\times10^{-4}\ K^{-1}$	$2.\times10^{-4}\ K^{-1}$
$\sigma_y(T)$	1000. MPa	800. MPa
$E_T(T)$	2000. MPa	1000. MPa

4.4 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.

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

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.

Résultat 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	VMIS	NON_REGRESSION	888.	0.1%
RESU_19	TRACE	NON_REGRESSION	-888.	0.1%
RESU_19	V1	NON_REGRESSION	0.08712	0.1%

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

5 Modélisation C

5.1 Simulation 1

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

5.2 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.

5.3 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée est 'ELAS_VMIS_PUIS', est documentée dans la documentation R5.03.02.

C'est une loi de comportement élastique "non linéaire" (loi de HENCKY) de VON MISES à écrouissage isotrope non linéaire définie par une fonction puissance.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$E(T)$, $\nu(T)$, $\alpha(T)$, $\sigma_y(T)$, $a(T)$ et $n(T)$

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètre	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	200000. MPa	100000. MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.\times10^{-4}$ K^{-1}	$2.\times10^{-4}$ K^{-1}
$\sigma_y(T)$	1000. MPa	800. MPa
$a(T)$	1.	0.8
$n(T)$	7.	6.

5.4 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.

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

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.

Résultat 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	VMIS	NON_REGRESSION	2008.142	0.1%
RESU_19	TRACE	NON_REGRESSION	-2008.142	0.1%
RESU_19	V1	NON_REGRESSION	0.0759186	0.1%

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

6 Modélisation D

6.1 Simulation 1

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

6.2 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.

6.3 Loi de comportement et paramètres matériaux

La loi de comportement testée est 'ELAS_VMIS_TRAC', documentée dans la documentation [R7.02.03].

C'est une loi de comportement élastique "non linéaire" (loi de HENCKY), de VON MISES à écrouissage isotrope non linéaire.

Les paramètres élastiques sont les suivants :

$$E(T),\quad \nu(T)\ ,\ \alpha(T),\ \sigma(\varepsilon,T)$$

Valeurs des paramètres utilisés :

Paramètre	$T=20°C$	$T=500°C$
$E(T)$	200000. MPa	100000. MPa
$\nu(T)$	0.	0.
$\alpha(T)$	$1.\times10^{-4}\ K^{-1}$	$2.\times10^{-4}\ K^{-1}$

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

6.4 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.

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

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.

Résultat 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	VMIS	NON_REGRESSION	905.918	0.1%
RESU_19	TRACE	NON_REGRESSION	-905.918	0.1%
RESU_19	V1	NON_REGRESSION	0.08694	0.1%

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

7 Synthèse générale 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)