

ZZZZ395 - Vérification des opérateurs de réduction de modèle

Résumé :

L'objectif de ce test est de vérifier de manière élémentaire les opérateurs de réduction de modèle `DEFI_BASE_REDUIITE`, `DEFI_DOMAINE_REDUIT` et `REST_REDUIT_COMPLET`.

On teste en thermique non-linéaire (opérateur `THER_NON_LINE`) et en mécanique non-linéaire (opérateur `STAT_NON_LINE`).

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère un cube de coté 3 mm .

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est élasto-plastique avec écrouissage isotrope linéaire (VMIS_ISOT_LINE) dont les propriétés sont :

- Module d'élasticité : $E = 210\,000\text{ MPa}$
- Coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$
- Module linéaire d'écrouissage : $H = 100\text{ MPa}$
- Limite élastique : $\sigma_y = 100\text{ MPa}$
- La conductivité thermique : fonction de la température sur la figure 1.2-a
- La chaleur volumique : fonction de la température sur la figure

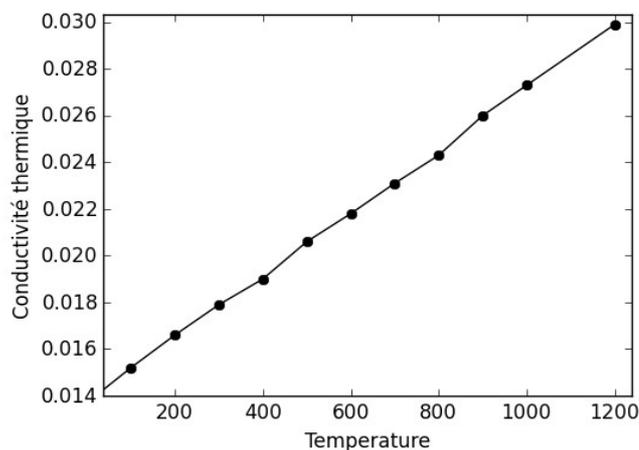


Figure 1.2-a: Conductivité thermique

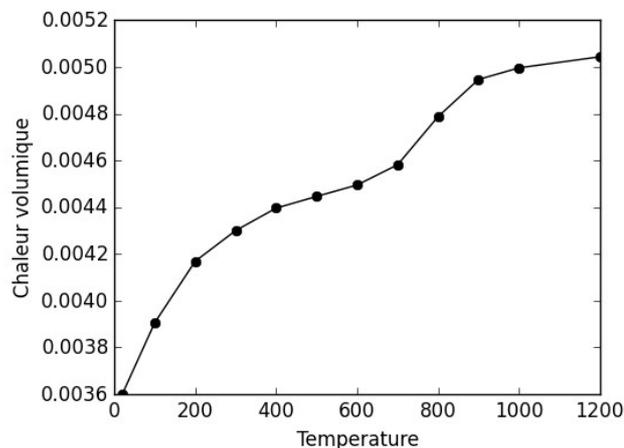


Figure 1.2-b: Chaleur volumique

1.3 Conditions aux limites et chargements

1.3.1 Calcul thermique

On impose une condition de rayonnement sur cinq faces du cube (voir figure 1.3.1-a) avec :

- constante de Boltzman : $5,67 \times 10^{-14} \text{ J} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot \text{K}^4$;
- émissivité : 0,75
- température extérieure : 20°C

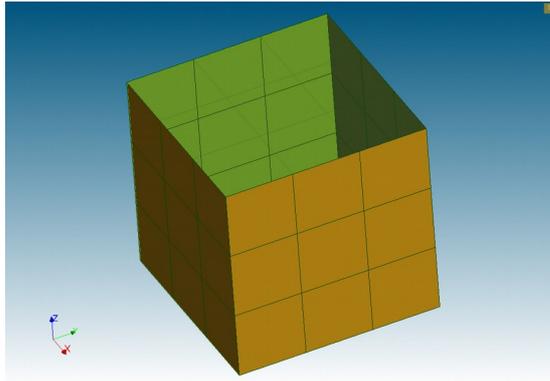


Figure 1.3.1-a: Surface pour la condition de rayonnement

Une condition d'échange sur la face du haut (voir figure 1.3.1-c) avec :

- Coefficient d'échange : $1,0 \text{ W} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- Température extérieure: fonction du temps sur la figure 1.3.1-b

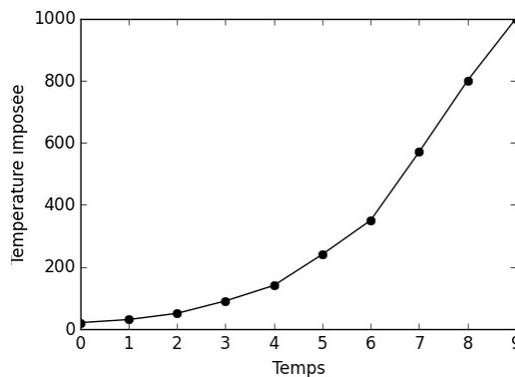


Figure 1.3.1-b: Température extérieure

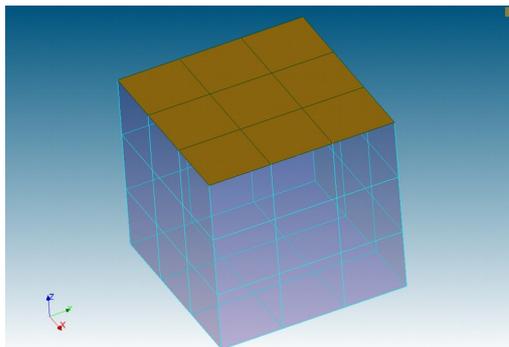


Figure 1.3.1-c: Surface pour la condition d'échange

Une condition d'échange sur les autres faces (voir figure 1.3.1-a) avec :

- Coefficient d'échange : $1,5 \times 10^{-5} W . mm^{-2} . K^{-1}$
- Température extérieure: $20^{\circ}C$

1.3.2 Calcul mécanique

Sur la surface inférieure (voir figure 1.3.2-a), on impose $DX=DY=DZ=0$.

Sur cinq faces du cube (voir figure 1.3.1-a), on impose une pression $p=1000 MPa$

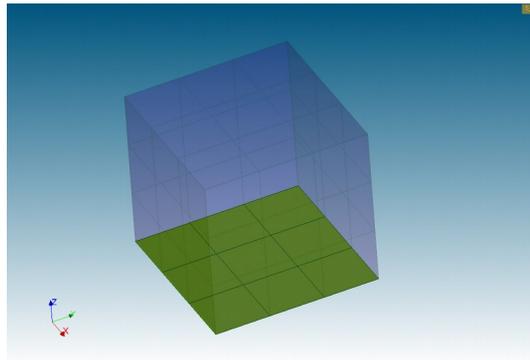


Figure 1.3.2-a: Surface pour encastrement

1.4 Conditions initiales

Néant.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Les résultats de référence sont soit des valeurs de non-régression (valeurs des modes empiriques, coefficients de réduction) soit des valeurs (déplacements, températures, contraintes et flux) calculées sur un modèle **complet**.

On teste également les coordonnées réduites. On rappelle que les modes empiriques $\Psi_m(x)$ sont tels que:

$$u(x, t) \approx \sum_{m=1}^{nbmode} \Psi_m(x) \times a_m(t) \quad (1)$$

Pour un champ $u(x, t)$ donné (température, déplacement, flux thermique ou contrainte) avec a_m les coordonnées réduites.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Pour la thermique, les résultats sur le modèle **complet** :

Lieu	Instant	Température (TEMP)
Nœud A en (1,0,3)	$t = 1 \text{ s}$	29,9053048593 °C
Nœud A en (1,0,3)	$t = 4 \text{ s}$	139,462715634 °C
Nœud A en (1,0,3)	$t = 7 \text{ s}$	567,08693147 °C
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10 \text{ s}$	999,349943608 °C
Nœud B en (3,3,3)	$t = 1 \text{ s}$	29,90499961 °C
Nœud B en (3,3,3)	$t = 4 \text{ s}$	139,458066818 °C
Nœud B en (3,3,3)	$t = 7 \text{ s}$	567,040457129 °C
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10 \text{ s}$	999,12502482 °C

Pour la mécanique, les résultats sur le modèle **complet** :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10 \text{ s}$	DX	0,0696319525128 mm
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10 \text{ s}$	DY	0,199062276741 mm
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10 \text{ s}$	DZ	0,529606351907 mm
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10 \text{ s}$	DX	-0,208992921588 mm
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10 \text{ s}$	DY	-0,208992921588 mm
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10 \text{ s}$	DZ	0,547254495773 mm

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (SIEF_NOEU)
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10 \text{ s}$	SIXX	-2739,13961277 MPa
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10 \text{ s}$	SIYY	-2737,51235419 MPa

Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	- 2612,22311229 MPa
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	13992,3974341 MPa
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	13992,3974341 MPa
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	14047,6477194 MPa
Nœud D en (3,1,0)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	13300,4780377 MPa
Nœud D en (3,1,0)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	13300,3220671 MPa
Nœud D en (3,1,0)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	13368,1442621 MPa

2.3 Incertitudes sur la solution

L'erreur sur la solution dépend du degré de réduction (nombre de modes empiriques et taille du domaine réduit).

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire.

Cette modélisation teste la création des modes empiriques en thermique. On prend pour la base primale et la base duale $TOLE_SVD = 1.E-3$.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs de la base primale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point A - TEMP - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - TEMP - Mode 2	NON_REGRESSION
Point A - TEMP - Mode 3	NON_REGRESSION

On teste quelques valeurs de la base duale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point A - FLUX_NOEU/FLUX - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUX - Mode 2	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 2	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUX - Mode 3	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 3	NON_REGRESSION

On teste les valeurs des coordonnées réduites (table COOR_REDUIT) a_m^T calculées lors de l'extraction des modes empiriques. Pour la base primale (température) :

Identification	Instant	Mode	Type de référence
$a_{m=1,t=10s}^T$	$t = 10s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=1,t=4s}^T$	$t = 4s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=3,t=10s}^T$	$t = 10s$	3	NON_REGRESSION
$a_{m=3,t=4s}^T$	$t = 4s$	3	NON_REGRESSION

Pour la base duale (flux thermique Φ) :

Identification	Instant	Mode	Type de référence
$a_{m=1,t=10s}^{\Phi}$	$t = 10\text{ s}$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=1,t=4s}^{\Phi}$	$t = 4\text{ s}$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=4,t=10s}^{\Phi}$	$t = 10\text{ s}$	4	NON_REGRESSION
$a_{m=4,t=4s}^{\Phi}$	$t = 4\text{ s}$	4	NON_REGRESSION

3.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression, mais les deux bases produites (en température et en flux) seront testées dans les autres modélisations pour comparer par rapport au calcul complet.

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire.
Cette modélisation teste la création du domaine réduit (RID).
On utilise les bases produites dans la modélisation A.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

4.3 Grandeurs testées et résultats

On vérifie que les mailles et les groupes sont bien créés par l'opérateur `DEFI_DOMAINE_REDUIT`.
Création d'un groupe de mailles nommé 'RID' pour le RID (mot-clef `NOM_DOMAINE`) et d'un groupe de nœuds 'INF' (mot-clef `NOM_INTERFACE`) pour l'interface entre le RID et le reste du domaine.

Identification	Type de référence
Nombre de <code>GROUP_MA</code>	<code>NON_REGRESSION</code>
Nombre de <code>GROUP_NO</code>	<code>NON_REGRESSION</code>
Nombre de nœuds dans le groupe <code>INF</code>	<code>NON_REGRESSION</code>
Nombre de mailles dans le groupe <code>RID</code>	<code>NON_REGRESSION</code>

4.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression, mais le domaine réduit sera testé dans d'autres modélisations.

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire avec réduction de modèle.
Cette modélisation teste la précision des modes empiriques obtenus dans la modélisation A
On utilise donc les bases produites dans la modélisation A.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur des températures obtenues avec un modèle réduit par rapport à celles obtenues dans le modèle complet (§2.2) :

Lieu	Instant	VALE_REFE (TEMP)	PRECISION
Nœud A en (1,0,3)	$t = 1\text{ s}$	29,9053048593 °C	6.0E-5
Nœud A en (1,0,3)	$t = 4\text{ s}$	139,462715634 °C	2.0E-5
Nœud A en (1,0,3)	$t = 7\text{ s}$	567,08693147 °C	7.0E-6
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	999,349943608 °C	6.0E-6

5.4 Remarques

On voit que la base produite dans la modélisation A permet d'obtenir des très bons résultats (erreur inférieure à 0,01%) par rapport au calcul complet.

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire avec hyper-réduction de modèle. Cette modélisation teste la précision des modes empiriques obtenus dans la modélisation A sur le domaine réduit créé dans la modélisation B.

On utilise donc les bases produites dans la modélisation A et le domaine réduit créé dans la modélisation B. On teste également l'opérateur de reconstruction `REST_REDUIT_COMPLET` par gappy-POD.

6.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type `HEXA8`.

6.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur des températures obtenues avec un modèle hyper-réduit par rapport à celles obtenues dans le modèle complet (§2.2) :

Lieu	Instant	VALE_REFE (TEMP)	PRECISION
Nœud A en (1,0,3)	$t = 1\text{ s}$	29,9053048593 °C	5.0E-5
Nœud A en (1,0,3)	$t = 4\text{ s}$	139,462715634 °C	1.5E-5
Nœud A en (1,0,3)	$t = 7\text{ s}$	567,08693147 °C	5.0E-6
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	999,349943608 °C	5.0E-6

Le nœud B n'appartient pas au domaine réduit RID. On ne peut donc accéder à sa valeur à l'issue du calcul thermique hyper-réduit. On utilise l'opérateur `REST_REDUIT_COMPLET` :

Lieu	Instant	VALE_REFE (TEMP)	PRECISION
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10\text{ s}$	999,12502482 °C	0,3 %

6.4 Remarques

On voit que la base produite dans la modélisation A sur le domaine réduit de la modélisation B permet d'obtenir des très bons résultats (erreur inférieure à 0,01%) par rapport au calcul complet. Mais ils sont forcément légèrement moins bons que dans le cas simplement réduit (modélisation C).

De plus, l'opérateur de reconstruction `REST_REDUIT_COMPLET` donne également une bonne solution à 0.3 % près sur la température évaluée à l'extérieur du RID.

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en mécanique non-linéaire.
Cette modélisation teste la création des modes empiriques en mécanique. On prend pour la base primale et la base duale $TOLE_SVD = 1.E-3$.

7.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

7.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs de la base primale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point <i>A</i> - DEPL/DX - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DY - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DZ - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DX - Mode 2	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DY - Mode 2	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DZ - Mode 2	NON_REGRESSION

On teste quelques valeurs de la base primale obtenus par la méthode POD_INCR avec $TOLE = 1.E-10$. On obtient les mêmes modes que précédemment :

Identification	Type de référence
Point <i>A</i> - DEPL/DX - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DY - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DZ - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DX - Mode 2	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DY - Mode 2	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - DEPL/DZ - Mode 2	NON_REGRESSION

On teste quelques valeurs de la base duale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point <i>A</i> - SIEF_NOEU/SIXX - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - SIEF_NOEU/SIYY - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - SIEF_NOEU/SIZZ - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - SIEF_NOEU/SIXY - Mode 1	NON_REGRESSION
Point <i>A</i> - SIEF_NOEU/SIXZ - Mode 1	NON_REGRESSION

Point A - SIEF_NOEU/ SIYZ - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - SIEF_NOEU/SIXX - Mode 3	NON_REGRESSION
Point A - SIEF_NOEU/ SIYY - Mode 3	NON_REGRESSION
Point A - SIEF_NOEU/ SIZZ - Mode 3	NON_REGRESSION
Point A - SIEF_NOEU/ SIXY - Mode 3	NON_REGRESSION
Point A - SIEF_NOEU/ SIXZ - Mode 3	NON_REGRESSION
Point A - SIEF_NOEU/ SIYZ - Mode 3	NON_REGRESSION

7.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression, mais les deux bases produites (en déplacement et en contraintes) seront testées dans les autres modélisations pour comparer par rapport au calcul complet.

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en mécanique non-linéaire.
Cette modélisation teste la création du domaine réduit (RID).
On utilise les bases produites dans la modélisation E.

8.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

8.3 Grandeurs testées et résultats

On vérifie que les mailles et les groupes sont bien créés par l'opérateur `DEFI_DOMAINE_REDUIT`.
Création d'un groupe de mailles nommé 'RID' pour le RID (mot-clef `NOM_DOMAINE`) et d'un groupe de nœuds 'INF' (mot-clef `NOM_INTERFACE`) pour l'interface entre le RID et le reste du domaine.

Identification	Type de référence
Nombre de <code>GROUP_MA</code>	NON_REGRESSION
Nombre de <code>GROUP_NO</code>	NON_REGRESSION
Nombre de nœuds dans le groupe <code>INF</code>	NON_REGRESSION
Nombre de mailles dans le groupe <code>RID</code>	NON_REGRESSION

8.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression, mais le domaine réduit sera testé dans d'autres modélisations.

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en mécanique non-linéaire avec réduction de modèle.
Cette modélisation teste la précision des modes empiriques obtenus dans la modélisation E.
On utilise donc les bases produites dans la modélisation E.

9.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

9.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur des déplacements obtenus avec un modèle réduit par rapport à celles obtenues dans le modèle complet (§2.2) :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)	Précision
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DX	0,0696319525128 mm	0,0015
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DY	0,199062276741 mm	<1,0E-6 %
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DZ	0,529606351907 mm	<1,0E-6 %

Et les contraintes :

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (SIEF_NOEU)	Précision
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	-2739,13961277 MPa	0,2 %
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	-2737,51235419 MPa	0,2 %
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	-2612,22311229 MPa	0,2 %

On teste les valeurs des coordonnées réduites (table COOR_REDUIT) a_m^u calculées lors de du calcul réduit dans STAT_NON_LINE. Pour la base primale (déplacements) :

Identification	Instant	Mode	Type de référence
$a_{m=1,t=1s}^u$	$t = 1\text{ s}$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=2,t=10s}^u$	$t = 10\text{ s}$	2	NON_REGRESSION

On teste également PREDICTION='EXTRAPOLE' :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)	Précision
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DX	0,0696319525128 mm	0,0015
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DY	0,199062276741 mm	<1,0E-6 %
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DZ	0,529606351907 mm	<1,0E-6 %

On teste les valeurs des coordonnées réduites (table COOR_REDUIT) a_m^u calculées lors de du calcul réduit dans STAT_NON_LINE. Pour la base primale (déplacements) :

Identification	Instant	Mode	Type de référence
$a_{m=1,t=1s}^u$	$t = 1 s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=2,t=10s}^u$	$t = 10 s$	2	NON_REGRESSION

9.4 Remarques

On voit que la base produite dans la modélisation E permet d'obtenir des très bons résultats (erreur inférieure à 0,2%) par rapport au calcul complet sauf pour les trois dernières contraintes. Mais pour ces dernières, ce n'est pas significatif car les contraintes sont très faibles.

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en mécanique non-linéaire avec hyper-réduction de modèle. Cette modélisation teste la précision des modes empiriques obtenus dans la modélisation E sur le domaine réduit créé dans la modélisation F.

On utilise donc les bases produites dans la modélisation D et le domaine réduit créé dans la modélisation F. On teste également l'opérateur de reconstruction `REST_REDUIT_COMPLET` par gappy-POD.

10.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type `HEXA8`.

10.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la valeur des déplacements obtenus avec un modèle hyper-réduit par rapport à celles obtenues dans le modèle complet (§2.2) :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)	Précision
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DX	0,0696319525128 mm	0,0015
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DY	0,199062276741 mm	0,0035
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DZ	0,529606351907 mm 0,0015	0,0025

Et les contraintes :

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (SIEF_NOEU)	Précision
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	-2739,13961277 MPa	0,34 %
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	-2737,51235419 MPa	0,36 %
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	-2612,22311229 MPa	0,37 %

10.4 Remarques

On voit que la base produite dans la modélisation E sur le domaine réduit de la modélisation F permet d'obtenir des très bons résultats par rapport au calcul complet. Mais ils sont forcément légèrement moins bons que dans le cas simplement réduit (modélisation G).

Par contre, tout comme dans la modélisation G, l'erreur reste importante sur les trois dernières contraintes, mais ce n'est pas significatif (faible valeur des contraintes).

11 Modélisation I

11.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire.

Cette modélisation teste la création des modes empiriques **linéiques** en thermique. On prend 3 modes maximum pour la base primale et $TOLE_SVD = 1.E-3$ pour la base duale.

11.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

11.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs de la base primale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont faits au signe près) :

Identification	Type de référence
Point (0,0,3) - TEMP - Mode 1	NON_REGRESSION
Point (0,0,3) - TEMP - Mode 2	NON_REGRESSION
Point (0,0,3) - TEMP - Mode 3	NON_REGRESSION

On teste quelques valeurs de la base duale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point (0,0,3) - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 1	NON_REGRESSION
Point (0,0,3) - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 2	NON_REGRESSION
Point (0,0,3) - FLUX_NOEU/FLUX - Mode 3	NON_REGRESSION

11.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression.

12 Modélisation J

12.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en mécanique non-linéaire avec hyper-réduction de modèle. Cette modélisation teste la précision des modes empiriques obtenus dans la modélisation E sur le domaine réduit créé dans la modélisation F.

On utilise donc les bases produites dans la modélisation D et le domaine réduit créé dans la modélisation F. Cette modélisation teste la manière de reconstruire les champs sur le domaine complet

12.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

12.3 Grandeurs testées et résultats

12.3.1 Valeurs dans le RID

On teste la valeur des déplacements obtenus avec un modèle hyper-réduit par rapport à celles obtenues dans le modèle complet (§2.2) :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)	Précision
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DX	0,0696319525128 mm	0,0015
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DY	0,199062276741 mm	0,0035
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DZ	0,529606351907 mm	0,0015 0,0025

Et les contraintes :

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (SIEF_NOEU)	Précision
Nœud D en (3,1,0)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	13300,4780377 MPa	0,20 %
Nœud D en (3,1,0)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	13300,3220671 MPa	0,20 %
Nœud D en (3,1,0)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	13368,1442621 MPa	0,20 %

12.3.2 Valeurs hors du RID

Les valeurs hors du RID ne peuvent être obtenues directement du calcul hyper-réduit avec STAT_NON_LINE. Il est nécessaire de reconstruire les champs. On teste la reconstruction des champs « à la main » en récupérant les coordonnées réduites et en appliquant la formule (1) avec CREA_CHAMP :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)	Précision
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10\text{ s}$	DX	-0,208992921588 mm	0,0015
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10\text{ s}$	DY	-0,208992921588 mm	0,003
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10\text{ s}$	DZ	0,547254495773 mm	0,0025

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (SIEF_NOEU)	Précision
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	13300,4780377 MPa	0,7 %
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	13300,3220671 MPa	0,7 %
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	13368,1442621 MPa	9,7 %

On teste la reconstruction des champs par gappy-POD en utilisant l'opérateur REST_REDUIT_COMPLET :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)	Précision
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10\text{ s}$	DX	$-0,208992921588\text{ mm}$	0,0015
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10\text{ s}$	DY	$-0,208992921588\text{ mm}$	0,003
Nœud B en (3,3,3)	$t = 10\text{ s}$	DZ	$0,547254495773\text{ mm}$	0,002

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (SIEF_NOEU)	Précision
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	$13300,4780377\text{ MPa}$	0,002
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	$13300,3220671\text{ MPa}$	0,002
Nœud C en (0,0,0)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	$13368,1442621\text{ MPa}$	0,002

On teste également PREDICTION='EXTRAPOLE' :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (DEPL)	Précision
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DX	$0,0696319525128\text{ mm}$	0,0015
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DY	$0,199062276741\text{ mm}$	0,0015
Nœud A en (1,0,3)	$t = 10\text{ s}$	DZ	$0,529606351907\text{ mm}$	0,033

12.4 Remarques

La reconstruction des champs, en particulier en dehors du RID donnent des excellents résultats en termes de précision.

13 Modélisation K

13.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire.

Cette modélisation teste la création des modes empiriques en thermique par POD incrémentale. On prend des paramètres de manière à retrouver les mêmes modes que dans la modélisation A.

13.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

13.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs de la base primale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point A - TEMP - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - TEMP - Mode 2	NON_REGRESSION
Point A - TEMP - Mode 3	NON_REGRESSION

On teste quelques valeurs de la base duale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point A - FLUX_NOEU/FLUX - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUX - Mode 2	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 2	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUX - Mode 3	NON_REGRESSION
Point A - FLUX_NOEU/FLUY - Mode 3	NON_REGRESSION

On teste les valeurs des coordonnées réduites (table COOR_REDUIT) a_m^T calculées lors de l'extraction des modes empiriques. Pour la base primale (température) :

Identification	Instant	Mode	Type de référence
$a_{m=1,t=10s}^T$	$t = 10s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=1,t=4s}^T$	$t = 4s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=3,t=10s}^T$	$t = 10s$	3	NON_REGRESSION
$a_{m=3,t=4s}^T$	$t = 4s$	3	NON_REGRESSION

Pour la base duale (flux thermique Φ) :

Identification	Instant	Mode	Type de référence
$a_{m=1,t=10s}^{\Phi}$	$t = 10 s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=1,t=4s}^{\Phi}$	$t = 4 s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=4,t=10s}^{\Phi}$	$t = 10 s$	4	NON_REGRESSION
$a_{m=4,t=4s}^{\Phi}$	$t = 4 s$	4	NON_REGRESSION

13.4 Remarques

Les modes calculés sont strictement identiques entre POD et POD incrémentale.

14 Modélisation L

14.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire.

Cette modélisation teste la création des modes empiriques en thermique par POD incrémentale en mode reprise. On prend des paramètres de manière à retrouver les mêmes modes que dans la modélisation A. C'est à dire qu'on réalise l'enchaînement suivant :

- Calcul d'une première base empirique sur un calcul de thermique non-linéaire avec les mêmes hypothèses que la modélisation K ;
- Enrichissement de cette base par un calcul de POD incrémentale sur le **même** calcul de thermique non-linéaire.

Cet enchaînement permet de retrouver exactement les mêmes modes que les modélisations K et L.

14.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type HEXA8.

14.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs de la base primale (comme il s'agit de modes empiriques, les tests sont fait au signe près) :

Identification	Type de référence
Point A - TEMP - Mode 1	NON_REGRESSION
Point A - TEMP - Mode 2	NON_REGRESSION
Point A - TEMP - Mode 3	NON_REGRESSION

On teste les valeurs des coordonnées réduites (table COOR_REDUIT) a_m^T calculées lors de l'extraction des modes empiriques. Pour la base primale (température) :

Identification	Instant	Mode	Type de référence
$a_{m=1,t=10s}^T$	$t = 10s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=1,t=4s}^T$	$t = 4s$	1	NON_REGRESSION
$a_{m=3,t=10s}^T$	$t = 10s$	3	NON_REGRESSION
$a_{m=3,t=4s}^T$	$t = 4s$	3	NON_REGRESSION

14.4 Remarques

Les modes calculés sont strictement identiques entre POD (modélisation A), POD incrémentale (modélisation K) et POD incrémentale en mode reprise (modélisation L).

15 Modélisation M

15.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire.

Cette modélisation teste divers mots-clefs dans `DEFI_DOMAINE_REDUIT`. Ce test est purement informatique.

15.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 27 éléments de type `HEXA8`.

15.3 Grandeurs testées et résultats

On vérifie que les mailles et les groupes sont bien créés par l'opérateur `DEFI_DOMAINE_REDUIT`.

Création d'un groupe de mailles nommé '`RID`' pour le `RID` (mot-clef `NOM_DOMAINE`) et d'un groupe de nœuds '`INF`' (mot-clef `NOM_INTERFACE`) pour l'interface entre le `RID` et le reste du domaine.

Identification	Type de référence
Nombre de <code>GROUP_MA</code>	<code>NON_REGRESSION</code>
Nombre de <code>GROUP_NO</code>	<code>NON_REGRESSION</code>
Nombre de nœuds dans le groupe <code>INF</code>	<code>NON_REGRESSION</code>
Nombre de mailles dans le groupe <code>RID</code>	<code>NON_REGRESSION</code>

15.3.1 Test de `NB_COUCHE_SUPPL`

En prenant `NB_COUCHE_SUPPL=4`, le `RID` devient le domaine entier.

15.3.2 Test de `CORR_COMPLET`

Tests de non-régression informatique.

15.3.3 Test de `DOMAINE_INCLUS`

Tests de non-régression informatique.

16 Modélisation N

16.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en mécanique non-linéaire avec hyper-réduction de modèle et correction par éléments finis (option `CORR_COMPLET`).

16.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 216 éléments de type `HEXA8`.

16.3 Grandeurs testées et résultats

16.3.1 Avec `CORR_COMPLET`

On teste la valeur des déplacements obtenus avec un modèle hyper-réduit (avec correction) par rapport à celles obtenues dans le modèle complet :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (<code>DEPL</code>)	Précision
Nœud en (0.5,3,2.5)	$t = 10\text{ s}$	DX	0,497612858925 mm	0,0055
Nœud en (0.5,3,2.5)	$t = 10\text{ s}$	DY	-0,736173981172 mm	0,0055
Nœud en (0.5,3,2.5)	$t = 10\text{ s}$	DZ	1,5401647755 mm	0,0055
Nœud en (3,2,1)	$t = 10\text{ s}$	DX	-0,412778695928 mm	0,005
Nœud en (3,2,1)	$t = 10\text{ s}$	DY	-0,149415897318 mm	0,007
Nœud en (3,2,1)	$t = 10\text{ s}$	DZ	0,306532333698 mm	0,006

Et les contraintes :

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (<code>SIEF_NOEU</code>)	Précision
Nœud en (2.5,0,2.5)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	-2526.26537982 MPa	0,0022
Nœud en (2.5,0,2.5)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	-2524.79824979 MPa	0,0021
Nœud en (2.5,0,2.5)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	-2327.65322131 MPa	0,0043
Nœud en (1.5,2.5,1)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	-2607.04528612 MPa	0,0015
Nœud en (1.5,2.5,1)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	-2606.7177583 MPa	0,0013
Nœud en (1.5,2.5,1)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	-2455.1448814 MPa	0,0013

16.3.2 Sans `CORR_COMPLET`

On teste la valeur des déplacements obtenus avec un modèle hyper-réduit (sans correction) par rapport à celles obtenues dans le modèle complet :

Lieu	Instant	Composante	Déplacement (<code>DEPL</code>)	Précision
Nœud en (3,2,1)	$t = 10\text{ s}$	DX	-0,412778695928 mm	0,005
Nœud en (3,2,1)	$t = 10\text{ s}$	DY	-0,149415897318 mm	0,007
Nœud en (3,2,1)	$t = 10\text{ s}$	DZ	0,306532333698 mm	0,006

Et les contraintes :

Lieu	Instant	Composante	Contrainte (SIEF_NOEU)	Précision
Nœud en (1.5,2.5,1)	$t = 10\text{ s}$	SIXX	$-2607.04528612\text{ MPa}$	0,0015
Nœud en (1.5,2.5,1)	$t = 10\text{ s}$	SIYY	-2606.7177583 MPa	0,0014
Nœud en (1.5,2.5,1)	$t = 10\text{ s}$	SIZZ	-2455.1448814 MPa	0,0014

16.4 Remarques

On voit que le calcul avec CORR_COMPLET est un peu meilleur sur l'évaluation des contraintes, mais ça reste non-significatif sur les déplacements.

17 Modélisation O

17.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D en thermique non-linéaire avec hyper-réduction de modèle et correction par éléments finis (option `CORR_COMPLET`).

17.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 216 éléments de type `HEXA8`.

17.3 Grandeurs testées et résultats

17.3.1 Avec `CORR_COMPLET`

On teste la valeur des températures obtenues avec un modèle hyper-réduit (avec correction) par rapport à celles obtenues dans le modèle complet :

Lieu	Instant	Composante	Température	Précision
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 1 s$	TEMP	29.9070478306	0.007%
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 4 s$	TEMP	139.467784038	0.002%
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 7 s$	TEMP	567.145887211	0.0004%
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 10 s$	TEMP	999.500384048	0.0006%
Nœud en (3,0.5,0.5)	$t = 1 s$	TEMP	22.6152896917	0.45%
Nœud en (3,0.5,0.5)	$t = 4 s$	TEMP	90.756408026	0.05%
Nœud en (3,0.5,0.5)	$t = 7 s$	TEMP	380.605752326	0.007%
Nœud en (3,0.5,0.5)	$t = 10 s$	TEMP	931.460613403	0.015%

17.3.2 Sans `CORR_COMPLET`

On teste la valeur des températures obtenues avec un modèle hyper-réduit (sans correction) par rapport à celles obtenues dans le modèle complet :

Lieu	Instant	Composante	Température	Précision
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 1 s$	TEMP	29.9070478306	0.007%
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 4 s$	TEMP	139.467784038	0.0025%
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 7 s$	TEMP	567.145887211	0.0009%
Nœud en (1.5,1.5,3)	$t = 10 s$	TEMP	999.500384048	0.00075%

17.4 Remarques

On voit que le calcul avec `CORR_COMPLET` est un peu meilleur sur l'évaluation des températures.