# ZZZZ336 – Validation de la prise en compte des variables de commandes aux sous-points

**Résumé :**

L'objectif de ce test est de valider la prise en compte des variables de commandes aux sous-points en fournissant au mot-clé AFFE_VARC de la commande AFFE_MATERIAU un champ ou résultat créé par la méthode SOUS_POINT de la commande PROJ_CHAMP.

Les modélisations considérées sont les éléments DKT, GRILLE_EXCENTREE, POU_D_EM et POU_D_TGM.

Pour les éléments DKT et GRILLE_EXCENTREE , la vérification consiste à projeter un champ de températures issu d'un calcul thermique linéaire 3D sur une dalle composée d'éléments DKT multicouches et d'une grille excentrée. La flèche de la dalle due au gradient thermique est calculée en thermo-élasticité linéaire.
La solution de référence est issue d'un calcul identique avec la méthode CREA_RESU option PREP_VRC1.

Pour les modélisations POU_D_EM et POU_D_TGM, la validation se fait en deux temps. On soumet tout d'abord une poutre mono-matériau en appui à un champ de température variant selon l'axe Z. Les résultats sont comparés au même problème modélisé par des éléments 3D. On traite ensuite le cas bi-matériau, toujours sur une poutre en appui, en faisant varier la température de telle sorte que compte-tenu des différents matériaux, la déformation thermique soit la même sur chaque fibre. On ne doit alors trouver aucune flexion.

Ce test valide également les options EPVC_ELGA, EPME_ELGA et EPSP_ELGA pour les éléments listés ci-dessus.

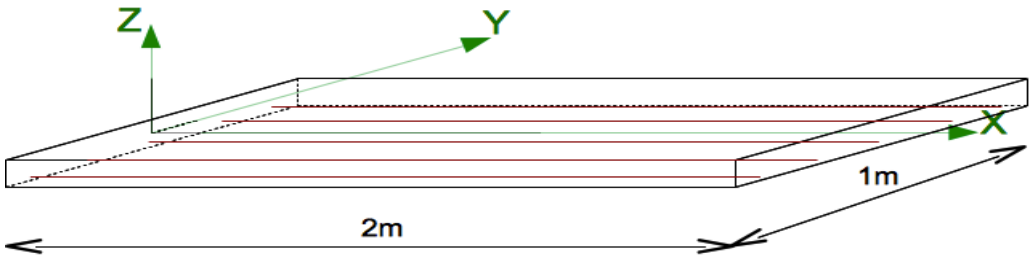


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 1 Problème de référence : Coques et grilles

## 1.1 Géométrie et maillages

On considère une dalle en béton de longueur $2\,m$, de largeur $1\,m$ et d'épaisseur $10\,cm$. Elle comporte une nappe en acier orientée selon l'axe $X$, composée de barres de diamètre $8\,mm$ espacées de $20\,cm$ dont l'axe est situé à $2.5\,cm$ en dessous du plan moyen.




## 1.2 Propriétés des matériaux

Pour le calcul thermique linéaire 3D (sur le béton uniquement) les propriétés sont :

$\rho C_p = 0$

$\lambda = 2\,W/m^2/K$

Pour le calcul mécanique les matériaux sont élastiques linéaires :

| | Béton : | acier : |
|---|---|---|
| | $E = 30\,GPa$ | $E = 200\,GPa$ |
| | $\nu = 0.2$ | $\nu = 0.3$ |
| | $\alpha = 10^{-5}\,K^{-1}$ | $\alpha = 2.10^{-5}\,K^{-1}$ |

Dans le troisième calcul dans lequel on souhaite valider l'option `EPSP_ELGA`, on passe à la loi `VMIS_ISOT_TRAC` dont les paramètres sont les suivantes :

| | Béton : | acier : |
|---|---|---|
| | `D_SIGM_EPSI` : 1E10 | `D_SIGM_EPSI` : 5E10 |
| | `SY` : 5E6 | `SY` : 1E7 |

## 1.3 Conditions aux limites et chargement

Pour le calcul thermique, la température est imposée sur la face inférieure et la face supérieure:

$T_{inf} = 20\,°C$ et $T_{\sup} = 50\,°C$

La température initiale est $T_{ini} = 20\,°C$

Pour le calcul mécanique, la dalle est simplement appuyée sur ses deux appuis parallèles à $Y$ :

- sur le bord $X = 0$ : $DX = DZ = 0$
- sur le bord $X = 1\text{m}$ : $DZ = 0$
- pour le coin $Y = -0.5\text{m}$ : $DY = 0$

Le chargement consiste à imposer la température issue du calcul thermique 3D.



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

# 2 Solution de référence : Coques et grilles

## 2.1 Méthode de calcul

Dans la solution de référence, le champ thermique est imposé à l'aide de la commande CREA_RESU option PREP_VRC1 pour les coques multicouches et les grilles excentrées. Le champ de température, linéaire dans l'épaisseur, varie de $20\,°C$ en face inférieure à $50\,°C$ en face supérieure.

Le champ EVOL_THER (aux sous points) est transmis au calcul mécanique par le mot-clé AFFE_VARC de AFFE_MATERIAU.

## 2.2 Grandeurs et résultats de référence

Le gradient thermique dans l'épaisseur impose une déformation mécanique de flexion dans la dalle. Les coefficients de dilatation du matériau acier et du matériau béton ont été volontairement choisis très différents pour générer des contraintes dues à la dilatation différentielle et tester ainsi le bon fonctionnement des éléments grille en même temps que celui des coques multicouches.

Les contraintes engendrées sont uniformes dans les plans parallèles au plan $XY$
Les grandeurs testées sont :

- le déplacement vertical du nœud $C5$ au milieu du bord $Y=-0.5\,m$
- la contrainte $\sigma_{xx}$ en face inférieure du béton
- la contrainte $\sigma_{xx}$ en face supérieur du béton
- la contrainte $\sigma_{xx}$ dans la couche d'acier

Pour les déformations thermiques du champ EPVC_ELGA, les références analytiques sont données par la formule $EPTHER_L=\alpha\left(TEMP-TEMP_{REF}\right)$. Le champ de déformation mécanique EPME_ELGA est ensuite validé par différence entre les déformations totales et les déformations thermiques.

Pour les déformations anélastiques EPSP_ELGA, la référence est donnée par la relation : déformation anélastique = déformation mécanique – déformation élastique.
Les déformations élastiques sont retrouvées à partir du champ de contrainte et les coefficient E et NU.

## 2.3 Incertitudes sur la solution

Néant.

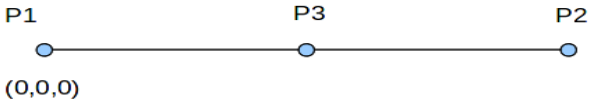


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

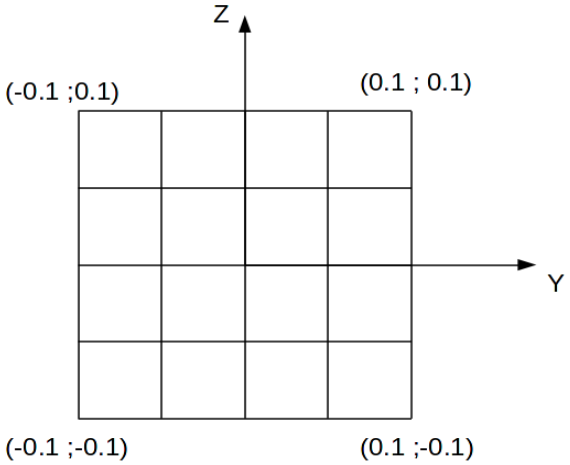
# 3 Problème de référence : Poutres multifibres

## 3.1 Géométrie et maillages

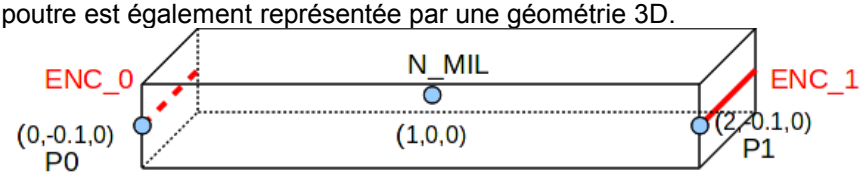
On considère une poutre de longueur $2\,m$ et de section carrée de côté $0.2\,m$ .




Pour les modélisations en poutres multifibres, la section de la poutre comporte 16 fibres disposées comme sur la figure suivante :




Cette même poutre est également représentée par une géométrie 3D.




## 3.2 Propriétés des matériaux

Les matériaux sont élastiques linéaires :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Béton : | $E=30\,GPa$ | acier : | $E=200\,GPa$ |
| | $\nu=0.2$ | | $\nu=0.3$ |
| | $\alpha=10^{-5}K^{-1}$ | | $\alpha=2.10^{-5}K^{-1}$ |

Dans le premier calcul (mono-matériau), la poutre est entièrement en béton.
Dans le deuxième et le troisième calculs (bi-matériau), les fibres sous l'axe $Y$ sont en béton alors que les fibres au-dessus sont en acier.

## 3.3 Conditions aux limites et chargement

### 3.3.1 Conditions aux limites

**Poutres calculs 1 et 2 :**
Le nœud `P1` est bloqué en `DX`, `DY`, `DZ`, `DRX` et `DRZ`.
Le nœud `P2` est bloqué en `DY` et `DZ`.



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

**Poutres calcul 3 :**
Les nœuds P1 et P2 sont encastrés.

**3D :**
Les nœuds sur le segment ENC_0 sont bloqués en DX et en DZ.
Les nœuds sur le segment ENC_1 sont bloqués en DZ.
Les nœuds P0 et P1 sont bloqués en DY.

### 3.3.2 Chargement

**Calcul mono-matériau :**
On impose un chargement thermique dépendant de $Z$ et du temps $t$. La température est définie comme suit : $T=(-200Z+20)t$. La température de référence est $0$.

**Calculs bi-matériau :**
On impose un chargement thermique dépendant de $Z$ et du temps $t$. La température est définie comme suit :
- $T=20t$ si $Z>0$
- $T=40t$ si $Z<0$

La température de référence est $0$.



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

# 4 Solution de référence : Poutres multifibres

## 4.1 Calcul mono-matériau

### 4.1.1 Grandeurs et résultats de référence

La solution de référence est celle donnée par les résultats du calcul 3D. On teste la composante DZ du déplacement du nœud N_MIL pour les 3D et P3 pour les poutres.

### 4.1.2 Incertitudes sur la solution

Incertitudes liées à la modélisation 3D.

## 4.2 Premier calcul bi-matériau

### 4.2.1 Grandeurs et résultats de référence

Les valeurs coefficients $\alpha$ des deux matériaux et des champs de température affectés aux différentes fibres ont pour conséquence la même valeur de déformation thermique sur chaque fibre.
Si la température aux sous-points est correctement prise en compte, ce chargement n'induit pas de flexion de la poutre.

On vérifie donc que la composante DZ du déplacement du nœud P3 est nulle.

### 4.2.2 Incertitudes sur la solution

Aucune.

## 4.3 Deuxième calcul bi-matériau

### 4.3.1 Grandeurs et résultats de référence

Le chargement thermique est le même que dans le calcul précédent, mais cette fois les nœuds extrémité sont encastrés. La déformation totale est nulle et la déformation thermique est la même que dans le calcul précédent. De plus la déformation mécanique est égale à la déformation thermique.

On a : $\varepsilon_{th}=8.\mathrm{E}-4$
Dans le cas général on a pour chaque fibre $i$ :

$$\sigma_{xx}=E_i(\varepsilon_{xx}-\varepsilon_{th})$$

donc dans le cas présent :

$$\sigma_{xx}=-E_i\,\varepsilon_{th}$$

D'où pour les fibres de béton :

$$\sigma_{xx}=-2.4\mathrm{E}7$$

et pour les fibres d'acier :

$$\sigma_{xx}=-1.6\mathrm{E}8$$

### 4.3.2 Incertitudes sur la solution

Aucune.



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

# 5 Modélisation A

## 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Le calcul thermique 3D utilise une modélisation lumpée (3D_DIAG). Toutefois, comme la température est imposée sur les deux faces de l'élément, elle est déterminée partout. Le solveur thermique n'est utilisé ici que pour générer le champ EVOL_THER à projeter. Le calcul mécanique utilise des éléments DKT multicouches pour le béton et GRILLE_EXCENTRE pour l'acier. Le nombre de couches dans les DKT est 10. La température issue du calcul thermique 3D est projetée sur les couches des éléments DKT et sur les éléments GRILLE à l'aide de la méthode SOUS_POINT de la commande PROJ_CHAMP.

## 5.2 Caractéristiques du maillage

Pour le calcul thermique le maillage 3D est composé d'une seule maille HEXA8.
Pour le calcul mécanique le maillage du plan moyen est réalisé avec 30 éléments QUAD4. Les éléments pour les grilles sont générés dans le fichier de commande avec CREA_MAILLAGE.

## 5.3 Grandeurs testées et résultats

La flèche du point $C5$ est testée :

| Point | Composante | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|
| C5 | DZ | -2.282282766283E-03 | 1.E-6 |

La contrainte dans un élément DKT (M27) est testée en face inférieure (sous-point 1, bas de la couche 1) et en face supérieure (sous-point 30, haut de la couche 10). La contrainte dans un élément GRILLE (AM27) est testé dans la couche unique (sous-point 1).

| Maille | Point | Sous-point | Composante | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| M27 | 1 | 1 | SIXX | 7.19992574908E+06 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 30 | SIXX | -1.67641728099E+06 | 1.E-6 |
| AM27 | 1 | 1 | SIXX | -1.22171342086E+07 | 1.E-6 |

On teste également quelques valeurs des champs EPVC_ELGA, EPME_ELGA et EPSP_ELGA (nulles dans ce cas, car le calcul est élastique) sur ces mêmes mailles.

| Maille | Point | Sous-point | Champ/Comp | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| M27 | 1 | 8 | EPVC/EPTHER_L | 22.5E-5 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 15 | EPVC/EPTHER_L | 15E-5 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 23 | EPVC/EPTHER_L | 7.5E-5 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 8 | EPME/EPXX | 0.0001684818089 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 15 | EPME/EPYY | -1.84633114e-05 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 8 | EPSP/EPXX | 0. | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 8 | EPSP/EPYY | 0. | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 8 | EPSP/EPXY | 0. | 1.E-6 |
| AM27 | 1 | 1 | EPVC/EPTHER_L | 45E-5 | 1.E-6 |
| AM27 | 1 | 1 | EPME/EXX | -6.108567099e-05 | 1.E-6 |
| AM27 | 1 | 1 | EPSP/EXX | 0. | 1.E-6 |

Calcul non-linéaire :



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

| Maille | Point | Sous-point | Champ/Comp | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| M27 | 1 | 8 | EPSP/EPXX | 1.328052439685e-05 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 8 | EPSP/EPYY | -7.523580542166e-06 | 1.E-6 |
| M27 | 1 | 8 | EPSP/EPXY | -3.992851634680e-06 | 1.E-6 |
| AM27 | 1 | 1 | EPSP/EXX | -4.484820109199e-06 | 1.E-6 |



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

# 6 Modélisation B

## 6.1 Caractéristiques de la modélisation

Le modèle thermique 3D sur lequel sont affectés les champs de température avant projection aux sous-points du modèle mécanique de poutres multifibres utilise la modélisation 3D.
Le modèle mécanique 3D utilise également la modélisation 3D.
La modélisation POU_D_EM est affectée au modèle linéique.

## 6.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage 3D est composé de 100 mailles HEXA27, 10 dans la longueur, 10 dans l'épaisseur et deux dans la largeur.
Le maillage linéique de poutre est composé de 20 mailles SEG2.

## 6.3 Grandeurs testées et résultats

**Calcul mono-matériau :**

| Instant | Point | Composante | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|
| 2.0 | P3 | DZ | -4.01394722938527E-02 | 4.E-2 |

| Instant | Maille | Champ/Comp | Point | Sous-point | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.0 | M1 | EPSI/EPXX | 1 | 8 | 6.e-3 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPVC/EPTHER_L | 1 | 8 | 6.e-3 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPME/EPXX | 1 | 8 | 0. | 1.E-6 |

**Premier calcul bi-matériau :**

| Instant | Point | Composante | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|
| 2.0 | P3 | DZ | 0.0 | 1.E-6 |

**Deuxième calcul bi-matériau :**

| Instant | Maille | Composante | Point | Sous-point | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.0 | M10 | SIXX | 1 | 1 | -2.400000000E+07 | 1.E-4 |
| 2.0 | M10 | SIXX | 1 | 9 | -1.600000000E+08 | 1.E-4 |

| Instant | Maille | Champ/Comp | Point | Sous-point | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.0 | M1 | EPVC/EPTHER_L | 1 | 8 | 8.e-4 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPME/EPXX | 1 | 8 | 8.e-4 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPSP/EPXX | 1 | 8 | 0. | 1.E-6 |



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

# 7 Modélisation C

## 7.1 Caractéristiques de la modélisation

Le modèle thermique 3D sur lequel sont affectés les champs de température avant projection aux sous-points du modèle mécanique de poutres multifibres utilise la modélisation 3D.
Le modèle mécanique 3D utilise également la modélisation 3D.
La modélisation POU_D_TGM est affectée au modèle linéique.

## 7.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage 3D est composé de 100 mailles HEXA27, 10 dans la longueur, 10 dans l'épaisseur et deux dans la largeur.
Le maillage linéique de poutre est composé de 20 mailles SEG2.

## 7.3 Grandeurs testées et résultats

**Calcul mono-matériau :**

| Instant | Point | Composante | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|
| 2.0 | P3 | DZ | -4.01394722938527E-02 | 4.E-2 |

| Instant | Maille | Champ/Comp | Point | Sous-point | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.0 | M1 | EPSI/EPXX | 1 | 8 | 6.e-3 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPVC/EPTHER_L | 1 | 8 | 6.e-3 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPME/EPXX | 1 | 8 | 0. | 1.E-6 |

**Premier calcul bi-matériau :**

| Instant | Point | Composante | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|
| 2.0 | P3 | DZ | 0.0 | 1.E-6 |

**Deuxième calcul bi-matériau :**

| Instant | Maille | Composante | Point | Sous-point | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.0 | M10 | SIXX | 1 | 1 | -2.400000000E+07 | 1.E-4 |
| 2.0 | M10 | SIXX | 1 | 9 | -1.600000000E+08 | 1.E-4 |

| Instant | Maille | Champ/Comp | Point | Sous-point | Valeur de référence | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.0 | M1 | EPVC/EPTHER_L | 1 | 8 | 8.e-4 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPME/EPXX | 1 | 8 | 8.e-4 | 1.E-6 |
| 2.0 | M1 | EPSP/EPXX | 1 | 8 | 0. | 1.E-6 |

# 8 Synthèse des résultats

La prise en compte des variables de commandes aux sous-points en fournissant à AFFE_VARC un champ ou un résultat créé par la méthode SOUS_POINT de la commande PROJ_CHAMP est validée pour les éléments DKT multicouches, les éléments GRILLE, les éléments POU_D_EM et POU_D_TGM. De même, ce test valide les options EPVC_ELGA, ELME_ELGA et EPSP_ELGA pour les éléments présents dans les modélisations de ce test.



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