

Manuel de Validation**Fascicule V7.01 : Thermo-mécanique linéaire des systèmes axisymétriques**
Document V7.01.100

HPLA100 - Cylindre creux thermoélastique pesant en rotation uniforme

Résumé

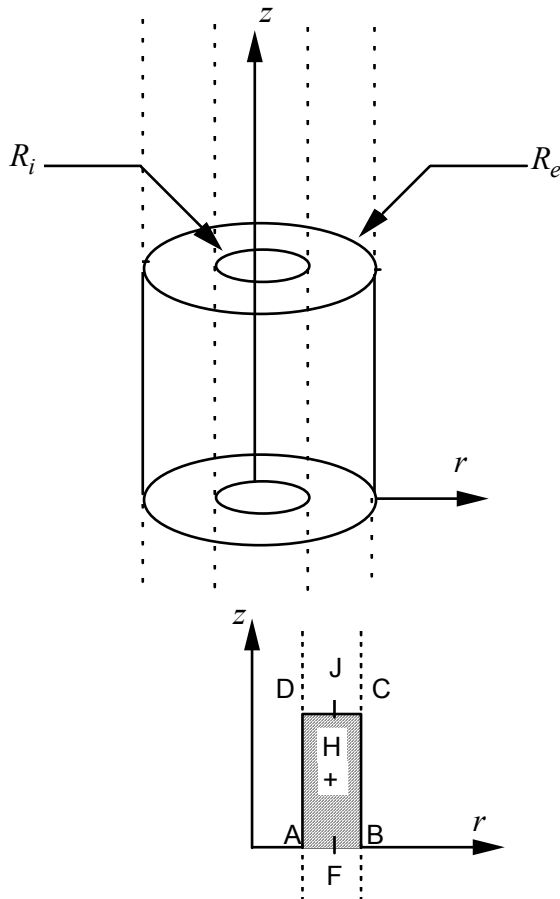
Ce test a pour but d'éprouver les seconds membres correspondants aux effets de la pesanteur, d'une dilatation thermique et de l'accélération due à une rotation uniforme. Pour les modélisations C et D (coque 3D), un calcul thermo-élastique chaîné et un calcul thermoélastoplastique sans évolution plastique ont été effectués.

La solution analytique de référence est décrite dans le document [V7.90.03]. On présente les résultats pour les modélisations :

- 2D axisymétrique : éléments finis isoparamétriques axisymétriques sur des mailles QUAD8,
- coques axisymétriques : éléments finis isoparamétriques axisymétriques sur des mailles SEG3 (maillage linéique de la section méridienne),
- coques 3D : éléments finis MEC3QU9H, MEC3TR7H sur des mailles QUAD9 et TRIA7, respectivement,
- plaques DKT : éléments finis plans DKQ, DKT sur des mailles QUAD4 et TRIA3, respectivement. On teste aussi les coques orthotropes de DEFI_COQU_MULT pour deux couches d'un même matériau isotrope et le mot clé ELAS_COQU de DEFI_MATERIAU pour l'affectation de caractéristiques de plaques homogénéisées.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Rayon intérieur $R_i = 19.5 \text{ mm}$
Rayon extérieur $R_e = 20.5 \text{ mm}$
Point F $R = 20.0 \text{ mm}$
Epaisseur $h = 1.0 \text{ mm}$
Hauteur $L = 10.0 \text{ mm}$

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est homogène isotrope, thermoélastique linéaire, l'état initial est vierge. Les coefficients sont : $E = 2.10^5 \text{ N/mm}^2$ $\nu = 0.3$ $\rho = 8.10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ $\alpha = 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (coefficient de dilatation).

1.3 Conditions aux limites et chargements

- pesanteur : $g = 10. \text{ ms}^{-2}$, selon l'axe OZ
force de traction sur la face supérieure: -160.10^{-4} N , soit une traction répartie sur [CD] : -8.10^{-4} N/mm
- rotation : $\Omega = 1. \text{ s}^{-1}$ selon l'axe OZ
- dilatation thermique : $T(\rho) - T_{ref}(\rho) = (T_s + T_i)/2 + (T_s - T_i)(r - R)/h$ avec :
cas 1 : $T_s = 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_i = -0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{ref} = 0. \text{ }^\circ\text{C}$
cas 2 : $T_s = 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_i = 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{ref} = 0. \text{ }^\circ\text{C}$

Ces champs de température sont calculés avec THER_LINEAIRE, à l'aide d'un calcul stationnaire sur le même maillage, mais avec un modèle plan afin d'avoir une solution affine dans l'épaisseur.

Les conditions aux limites en déplacement (et rotation) étant différentes selon la modélisation considérée, elles seront décrites ultérieurement (dans les paragraphes relatifs aux modélisations).

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Se reporter au document [V7.90.03] pour avoir les solutions analytiques complètes.

Les résultats de référence analytiques sont :

- les déplacements et rotations,
- la contrainte axiale, les efforts généralisés (en théorie de coques),

en peaux interne et externe sur les sections AB et CD.

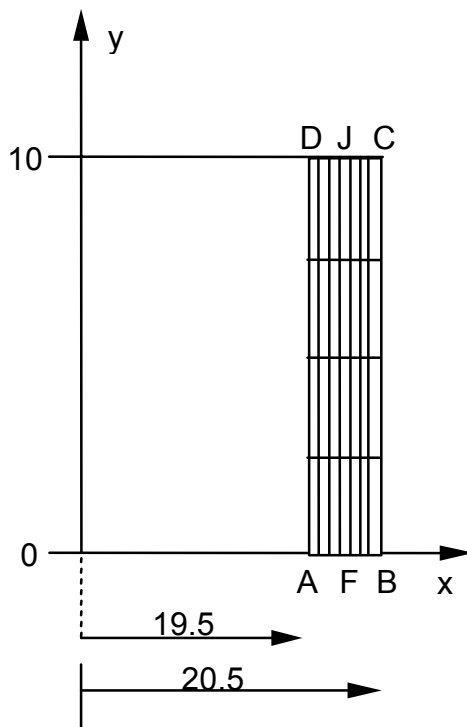
En 2D axisymétrique, les solutions complètes données en [V7.90.03] sont telles que $\varepsilon_{rz} = 0$ où r et z sont les directions radiale et axiale du cylindre, respectivement. Pour les chargements de rotation uniforme et de dilatation thermique, les conditions aux limites sont choisies de telle sorte que les solutions ne dépendent pas de z (on a notamment $\varepsilon_{zz} = 0$).

Pour les coques, avec des conditions aux limites équivalentes, la rotation θ_θ autour de l'axe orthoradial est nulle pour les chargements de rotation uniforme et de dilatation thermique, ce qui n'est pas le cas du chargement de pesanteur où la rotation est constante (le cylindre se met alors en forme conique). En revanche dans tous les cas, la distorsion transverse est nulle ; ainsi les théories de Love-Kirchhoff et celles de Hencky-Mindlin fournissent la même solution de référence.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments finis 2D axisymétriques



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus :

| Bord | group_no |
|------|----------|
| BC | BC |
| DA | DA |
| AB | BAS |
| CD | HAUT |

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est régulier : 4 éléments dans la hauteur, 8 dans l'épaisseur.

Nombre de nœuds : 121

Nombre de mailles et type : 32 QUAD8

3.3 Conditions aux limites en déplacement

3.3.1 Pesanteur

Le déplacement DY est bloqué au point F seul.

3.3.2 Rotation

Le déplacement DY est bloqué sur les côtés [AB] (GROUP_NO : BAS) et sur [CD] (GROUP_NO : HAUT).

3.3.3 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DY est bloqué sur toute la structure.

3.3.4 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DY est bloqué sur les côtés [AB] (GROUP_NO : BAS) et [CD] (GROUP_NO : HAUT).

3.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|----------|
| AFPE_MODELE | AFPE | MODELISATION | ' AXIS ' |
| AFPE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | ROTATION | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |

4 Résultats de la modélisation A

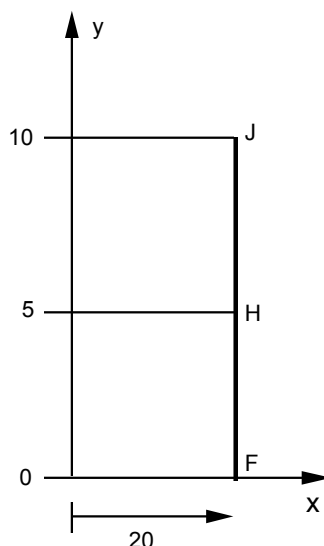
4.1 Valeurs testées

| Identification | Référence | Aster | % différence |
|---|---------------------------|----------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du nœud N78 | -2.34000 10 ⁻⁸ | -2.339999 10 ⁻⁸ | - |
| Déplacement DY du nœud N120 | -1.185 10 ⁻⁹ | -1.184999 10 ⁻⁹ | - |
| Déplacement DY du nœud N13 | 1.2150 10 ⁻⁹ | 1.214999 10 ⁻⁹ | - |
| Contrainte axiale Siyy au nœud N78 (M13) | 8.0000 10 ⁻⁴ | 7.9999 10 ⁻⁴ | - |
| Rotation uniforme - force centrifuge | | | |
| Déplacement DX du nœud N120 | -2.94240 10 ⁻⁷ | 2.942374 10 ⁻⁷ | 0.001 |
| Déplacement DX du nœud N13 | 2.88010 10 ⁻⁷ | 2.880065 10 ⁻⁷ | 0.001 |
| Contrainte axiale Siyy au nœud N120 (M1) | 9.94880 10 ⁻⁴ | 9.948902 10 ⁻⁴ | 0.001 |
| Contrainte axiale Siyy au nœud N13 (M32) | 9.26310 10 ⁻⁴ | 9.263187 10 ⁻⁴ | 0.001 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Déplacement DX du nœud N120 | 1.056145 10 ⁻⁶ | 1.05625 10 ⁻⁶ | 0.01 |
| Déplacement DX du nœud N13 | 1.110317 10 ⁻⁶ | 1.1104166 10 ⁻⁶ | 0.009 |
| Contrainte axiale Siyy au nœud N120 (M1) | 1.4321427 | 1.4321429 | - |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du nœud N120 | 2.53500 10 ⁻⁵ | 2.5349999 10 ⁻⁵ | - |
| Contrainte axiale Siyy au nœud N120 (M1) | -2.00000 10 ⁻¹ | -1.99999 10 ⁻¹ | - |

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments de coque axisymétrique



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus. On choisit la théorie de coques de Love-Kirchhoff (pour cela on prend un coefficient de cisaillement transverse de 10^6). On néglige la correction de métrique dans l'épaisseur. L'épaisseur est : 1 mm.

| nœud | group_no |
|------|----------|
| J | GRNO13 |
| H | GRNO14 |
| F | GRNO6 |

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21

Nombre de mailles et type : 10 SEG3

5.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

5.3.1 Pesanteur

Le déplacement DY est bloqué au point F seul (GRNO6).

5.3.2 Rotation

Le déplacement DY est bloqué au point F (GRNO6) au point J (GRNO13).
La rotation autour de l'axe Z est nulle en ces deux points.

5.3.3 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DY ainsi que la rotation autour de l'axe Z. sont bloqués sur toute la structure (GROUP_NO : GRNO15)

5.3.4 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DY est bloqué au point F (GROUP_NO : GRNO6) et au point J (GROUP_NO : GRNO13). La rotation autour de l'axe Z est nulle sur les mêmes groupes de nœuds.

5.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'COQUE_AXIS' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | |
| | | A_CIS | |
| | | MODI_METRIQUE | 'NON' |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | ROTATION | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Nota :

| L'indice X correspond ici à la première direction du repère local de l'élément.

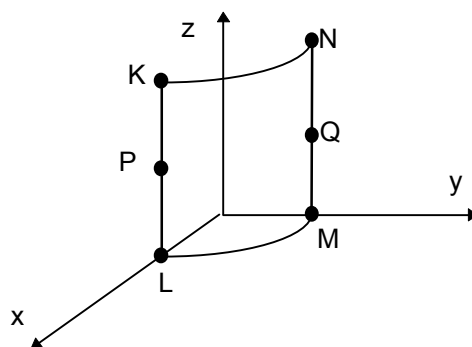
| Identification | Référence | Aster | % différence |
|--|---------------------------|----------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du nœud J | -2.40000 10 ⁻⁸ | -2.400016 10 ⁻⁸ | - |
| Déplacement DY du nœud H | 5.00000 10 ⁻⁹ | 5.00000 10 ⁻⁹ | - |
| Rotation DRZ du nœud H | 2.40000 10 ⁻⁹ | 2.400015 10 ⁻⁹ | - |
| Effort normal Nxx, maille M10, nœud J | 8.00000 10 ⁻⁴ | 8.00000 10 ⁻⁴ | - |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M10, nœud J | 8.00000 10 ⁻⁴ | 8.00000 10 ⁻⁴ | - |
| Rotation - force centrifuge | | | |
| Déplacement DX du nœud F | 2.91200 10 ⁻⁷ | 2.91201 10 ⁻⁷ | - |
| Effort normal Nxx, maille M1, nœud F | 9.60000 10 ⁻⁴ | 9.60005 10 ⁻⁴ | - |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M1, nœud F | 9.60000 10 ⁻⁴ | 9.600013 10 ⁻⁴ | - |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Mxx, maille M1, nœud F | -2.38095 10 ⁻¹ | -2.38095 10 ⁻¹ | - |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M1, nœud F | 1.428571 | 1.428571 | - |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du nœud F | 26.0000 10 ⁻⁶ | 26.0001 10 ⁻⁶ | - |
| Effort normal Nxx, maille M1, nœud F | -2.00000 10 ⁻¹ | -1.99999 10 ⁻¹ | - |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M1, nœud F | -2.00000 10 ⁻¹ | -1.99999 10 ⁻¹ | - |

7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de coque 3D : QUAD9



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| point | nœud |
|-------|-------|
| K | NO72 |
| L | NO1 |
| M | NO33 |
| N | NO39 |
| P | NO186 |
| Q | NO190 |

Le facteur de correction de cisaillement A_CIS vaut 5/6 (théorie de coques de Reissner).

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds externes : 121

Nombre de mailles et types : 32 QUAD9 + 8 SEG3

7.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

7.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

7.3.2 Rotation

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

7.3.3 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

7.3.4 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

7.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---|----------------|------------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'COQUE_3D' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS A_CIS | |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR FORCE_ARETE ROTATION TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE CHAM_MATER CARA_ELEM | | |
| STAT_NON_LINE | COMP_INCR | | |

8 Résultats de la modélisation C

8.1 Valeurs testées

| Identification | Référence | Aster | % différence |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.32821 \cdot 10^{-8}$ | 2.991 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.32709 \cdot 10^{-8}$ | -3.038 |
| Déplacement DZ du point P | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $4.99919 \cdot 10^{-9}$ | -0.016 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $4.99911 \cdot 10^{-9}$ | -0.018 |
| Rotation DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.44618 \cdot 10^{-9}$ | 1.924 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.44574 \cdot 10^{-9}$ | 1.906 |
| Effort normal Nyy, maille M4, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $8.00157 \cdot 10^{-4}$ | 0.020 |
| Effort normal Nyy, maille M32, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $8.00184 \cdot 10^{-4}$ | 0.023 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M4, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $8.20512 \cdot 10^{-4}$ | 2.564 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M32, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $8.20459 \cdot 10^{-4}$ | 2.557 |
| Rotation – force centrifuge | | | |
| Déplacement DX du point L | $2.91200 \cdot 10^{-7}$ | $2.91181 \cdot 10^{-7}$ | -0.006 |
| Déplacement DY du point M | $2.91200 \cdot 10^{-7}$ | $2.91073 \cdot 10^{-7}$ | -0.044 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $9.60000 \cdot 10^{-4}$ | $9.60002 \cdot 10^{-4}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M29, point M | $9.60000 \cdot 10^{-4}$ | $9.60004 \cdot 10^{-4}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | $9.84600 \cdot 10^{-4}$ | $9.83997 \cdot 10^{-4}$ | -0.061 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M29, point M | $9.84600 \cdot 10^{-4}$ | $9.83961 \cdot 10^{-4}$ | -0.065 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M1, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38096 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Moment Myy, maille M29, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38096 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | 1.428571 | 1.42858 | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M29, point M | 1.428571 | 1.42858 | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $25.9946 \cdot 10^{-6}$ | $25.9907 \cdot 10^{-6}$ | -0.015 |
| Déplacement DY du point M | $25.9946 \cdot 10^{-6}$ | $25.9989 \cdot 10^{-6}$ | 0.016 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M29, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | $-1.97800 \cdot 10^{-1}$ | $-1.97862 \cdot 10^{-1}$ | 0.031 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M29, point M | $-2.97800 \cdot 10^{-1}$ | $-1.97864 \cdot 10^{-1}$ | 0.032 |

8.2 Remarques

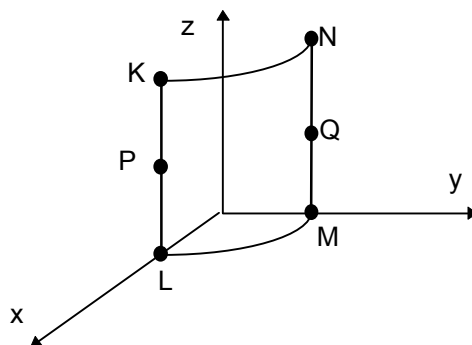
Résultats satisfaisants et identiques pour les calculs avec MECA_STATIQUE et STAT_NON_LINE.

9 Modélisation D

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de coque 3D : TRIA7



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| point | nœud |
|-------|-------|
| K | NO72 |
| L | NO1 |
| M | NO33 |
| N | NO39 |
| P | NO186 |
| Q | NO190 |

Le facteur de correction de cisaillement A_CIS vaut 5/6 (théorie de coques Reissner).

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds externes : 153

Nombre de mailles et types : 64 TRIA7 + 8 SEG3

9.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

9.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

9.3.2 Rotation

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

9.3.3 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

9.3.4 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

9.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|------------|
| AFPE_MODELE | AFPE | MODELISATION | 'COQUE_3D' |
| AFPE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | A_CIS |
| AFPE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | FORCE_ARETE | | |
| | ROTATION | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |
| STAT_NON_LINE | COMP_INCR | | |

10 Résultats de la modélisation D

10.1 Valeurs testées

| Identification | Référence | Aster | % différence |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.32610 \cdot 10^{-8}$ | -3.079 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.33110 \cdot 10^{-8}$ | -2.871 |
| Déplacement DZ du point P | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $4.99874 \cdot 10^{-9}$ | -0.025 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $4.99940 \cdot 10^{-9}$ | -0.012 |
| Rotation -DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.43797 \cdot 10^{-9}$ | 1.582 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.43962 \cdot 10^{-9}$ | 1.651 |
| Effort normal Nyy, maille M60, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.99979 \cdot 10^{-4}$ | -0.003 |
| Effort normal Nyy, maille M56, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $8.00431 \cdot 10^{-4}$ | 0.054 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M60, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $8.20178 \cdot 10^{-4}$ | 2.522 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M56, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $8.19909 \cdot 10^{-4}$ | 2.489 |
| Rotation – force centrifuge | | | |
| Déplacement DX du point L | $2.91200 \cdot 10^{-7}$ | $2.91170 \cdot 10^{-7}$ | -0.010 |
| Déplacement DY du point M | $2.91200 \cdot 10^{-7}$ | $2.91091 \cdot 10^{-7}$ | -0.037 |
| Effort normal Nyy, maille M25, point L | $9.60000 \cdot 10^{-4}$ | $9.60207 \cdot 10^{-4}$ | 0.022 |
| Effort normal Nyy, maille M53, point M | $9.60000 \cdot 10^{-4}$ | $9.59935 \cdot 10^{-4}$ | -0.007 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M25, point L | $9.84600 \cdot 10^{-4}$ | $9.84011 \cdot 10^{-4}$ | -0.060 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M53, point M | $9.84600 \cdot 10^{-4}$ | $9.84124 \cdot 10^{-4}$ | -0.048 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M25, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38097 \cdot 10^{-1}$ | 0.001 |
| Moment Myy, maille M53, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38096 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M25, point L | 1.428571 | 1.42858 | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M53 point M | 1.428571 | 1.42858 | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $25.9928 \cdot 10^{-6}$ | -0.028 |
| Déplacement DY du point M | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $25.9969 \cdot 10^{-6}$ | -0.012 |
| Effort normal Nyy, maille M25, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M53, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-1.99999 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M25, point L | $-1.97800 \cdot 10^{-1}$ | $-1.97821 \cdot 10^{-1}$ | 0.011 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M53, point M | $-1.97800 \cdot 10^{-1}$ | $-1.97898 \cdot 10^{-1}$ | 0.050 |

10.2 Remarques

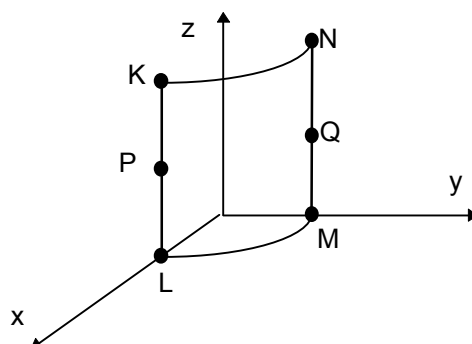
Résultats satisfaisants et identiques pour les calculs avec MECA_STATIQUE et STAT_NON_LINE.

11 Modélisation E

11.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de plaque DKQ : QUAD4



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| point | nœud |
|-------|-------|
| K | NO160 |
| L | NO203 |
| M | NO11 |
| N | NO1 |
| P | NO226 |
| Q | NO6 |

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 231

Nombre de mailles et types : 200 QUAD4 + 80 SEG2

11.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

11.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

11.3.2 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

11.3.3 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

11.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'DKT' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | FORCE_ARETE | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |
| STAT_NON_LINE | COMP_INCR | | |

12 Résultats de la modélisation E

12.1 Valeurs testées

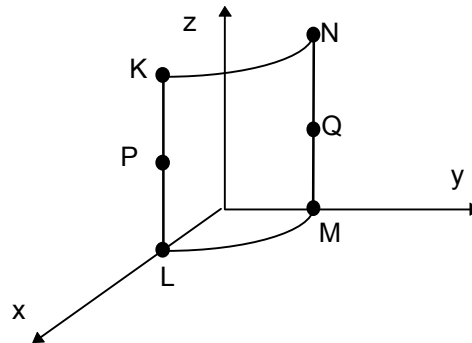
| Identification | Référence | Aster | % différence |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.37341 \cdot 10^{-8}$ | -1.108 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.37341 \cdot 10^{-8}$ | -1.108 |
| Déplacement DZ du point P | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.00883 \cdot 10^{-9}$ | 0.177 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.00883 \cdot 10^{-9}$ | 0.177 |
| Rotation -DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.36136 \cdot 10^{-9}$ | -1.610 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.36136 \cdot 10^{-9}$ | -1.610 |
| Effort normal Nyy, maille M181, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Effort normal Nyy, maille M200, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M181, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M200, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M1, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Moment Myy, maille M20, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M20, point M | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Déplacement DY du point M | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M20, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M20, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |

13 Modélisation F

13.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de plaque DKT : TRIA3



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| point | noeud |
|-------|-------|
| K | NO1 |
| L | NO11 |
| M | NO161 |
| N | NO227 |
| P | NO6 |
| Q | NO215 |

13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 231

Nombre de mailles et type : 400 TRIA3 + 80 SEG2

13.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

13.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

13.3.2 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

13.3.3 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

13.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'DKT' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | FORCE_ARETE | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |
| STAT_NON_LINE | COMP_INCR | | |

14 Résultats de la modélisation F

14.1 Valeurs testées

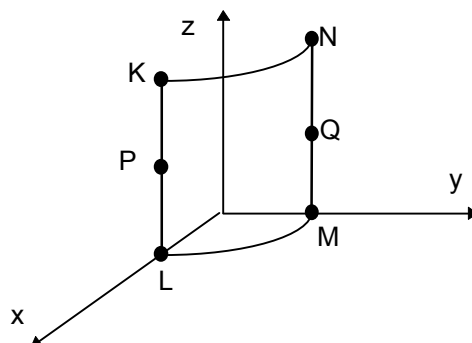
| Identification | Référence | Aster | % différence |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.32796 \cdot 10^{-8}$ | -3.002 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.32796 \cdot 10^{-8}$ | -3.002 |
| Déplacement DZ du point P | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.02845 \cdot 10^{-9}$ | 0.517 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.02845 \cdot 10^{-9}$ | 0.517 |
| Rotation -DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.28975 \cdot 10^{-9}$ | -4.594 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.28975 \cdot 10^{-9}$ | -4.594 |
| Effort normal Nyy, maille M362, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61457 \cdot 10^{-4}$ | -4.818 |
| Effort normal Nyy, maille M400, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61457 \cdot 10^{-4}$ | -4.818 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M362, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61007 \cdot 10^{-4}$ | 4.874 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M400, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61007 \cdot 10^{-4}$ | 4.874 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M1, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Moment Myy, maille M39, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M1, point L | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M39 point M | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $25.9999 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Déplacement DY du point M | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $25.9999 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M39, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-1.99999 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M39, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |

15 Modélisation G

15.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de plaque DKT : TRIA3. La modélisation utilise une plaque bi-couche dont les caractéristiques d'orthotropie sont celles du matériau défini au §1.2 .



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| point | nœud |
|-------|-------|
| K | NO1 |
| L | NO11 |
| M | NO161 |
| N | NO227 |
| P | NO6 |
| Q | NO215 |

15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 231

Nombre de mailles et types : 400 TRIA3 + 80 SEG2

15.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

15.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

15.3.2 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

15.3.3 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

15.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'DKT' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | |
| DEFI_MATERIAU | ELAS_ORTH | | |
| DEFI_COQU_MULT | | EPAIS | |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | FORCE_ARETE | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |

16 Résultats de la modélisation G

16.1 Valeurs testées

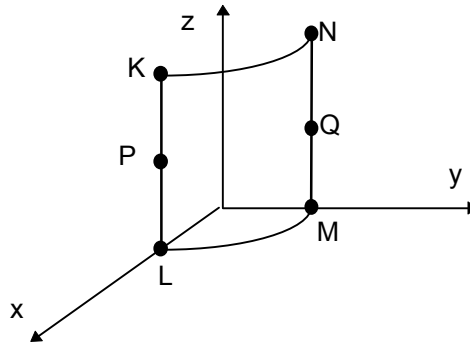
| Identification | Référence | Aster | % différence |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $2.32796 \cdot 10^{-8}$ | -3.002 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.32796 \cdot 10^{-8}$ | -3.002 |
| Déplacement DZ du point P | $5.0 \cdot 10^{-9}$ | $5.02845 \cdot 10^{-9}$ | 0.517 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.0 \cdot 10^{-9}$ | $5.02845 \cdot 10^{-9}$ | 0.517 |
| Rotation -DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.28975 \cdot 10^{-9}$ | -4.594 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.28975 \cdot 10^{-9}$ | -4.594 |
| Effort normal Nyy, maille M362, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61457 \cdot 10^{-4}$ | -4.818 |
| Effort normal Nyy, maille M400, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61457 \cdot 10^{-4}$ | -4.818 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M362, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61007 \cdot 10^{-4}$ | 4.874 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M400, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61007 \cdot 10^{-4}$ | 4.874 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M1, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Moment Myy, maille M39, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M1, point L | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Sixx, peau externe, maille M1, point L | -1.428571 | -1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Sixx, peau interne, maille M39 point M | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Sixx, peau externe, maille M39 point M | -1.428571 | -1.428571 | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $26.0 \cdot 10^{-6}$ | $25.9999 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Déplacement DY du point M | $26.0 \cdot 10^{-6}$ | $25.9999 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M39, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-1.99999 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M39, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |

17 Modélisation H

17.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de plaque DKQ : QUAD4. La modélisation utilise une plaque bi-couche dont les caractéristiques d'orthotropie sont celles du matériau défini au §1.2 .



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| Point | nœud |
|-------|-------|
| K | NO160 |
| L | NO203 |
| M | NO11 |
| N | NO1 |
| P | NO226 |
| Q | NO6 |

17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds externes : 231

Nombre de mailles et types : 200 QUAD4 + 80 SEG2

17.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

17.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

17.3.2 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

17.3.3 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

17.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'DKT' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | |
| DEFI_MATERIAU | ELAS_ORTH | | |
| DEFI_COQU_MULT | | EPAIS | |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | FORCE_ARETE | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |

18 Résultats de la modélisation H

18.1 Valeurs testées

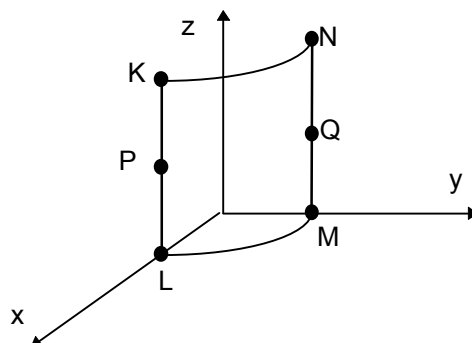
| Identification | Référence | Aster | % différence |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.37341 \cdot 10^{-8}$ | -1.108 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.37341 \cdot 10^{-8}$ | -1.108 |
| Déplacement DZ du point P | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.00883 \cdot 10^{-9}$ | 0.177 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.00883 \cdot 10^{-9}$ | 0.177 |
| Rotation -DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.36136 \cdot 10^{-9}$ | -1.610 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.36136 \cdot 10^{-9}$ | -1.610 |
| Effort normal Nyy, maille M181, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Effort normal Nyy, maille M200, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M181, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M200, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M1, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Moment Myy, maille M20, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau externe, maille M1, point L | -1.428571 | -1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M20, point M | 1.428571 | 1.428571 | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau externe, maille M20, point M | -1.428571 | -1.428571 | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Déplacement DY du point M | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M20, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Contrainte axiale Siyy, peau interne, maille M20, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |

19 Modélisation I

19.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de plaque DKQ : QUAD4. Affectation de caractéristiques de plaques homogénéisées correspondant au matériau du §1.2.



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| Point | nœud |
|-------|-------|
| K | NO160 |
| L | NO203 |
| M | NO11 |
| N | NO1 |
| P | NO226 |
| Q | NO6 |

19.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds externes : 231

Nombre de mailles et types : 200 QUAD4 + 80 SEG2

19.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

19.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

19.3.2 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

19.3.3 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

19.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'DKT' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | |
| DEFI_MATERIAU | ELAS_COQU | | |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | FORCE_ARETE | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |

20 Résultats de la modélisation I

20.1 Valeurs testées

| Identification | Référence | Aster | % différence |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.37341 \cdot 10^{-8}$ | -1.108 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.37341 \cdot 10^{-8}$ | -1.108 |
| Déplacement DZ du point P | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.00883 \cdot 10^{-9}$ | 0.177 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.00000 \cdot 10^{-9}$ | $5.00883 \cdot 10^{-9}$ | 0.177 |
| Rotation -DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.36136 \cdot 10^{-9}$ | -1.610 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.36136 \cdot 10^{-9}$ | -1.610 |
| Effort normal Nyy, maille M181, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Effort normal Nyy, maille M200, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.56157 \cdot 10^{-4}$ | -5.480 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M1, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Moment Myy, maille M20, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Déplacement DY du point M | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | $26.0000 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M20, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |

20.2 Remarques

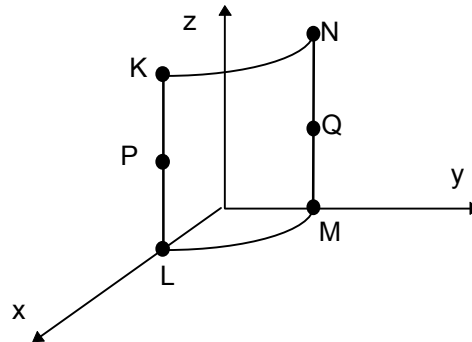
Les contraintes locales ne sont pas calculées étant donné que les caractéristiques matériau de la plaque sont supposées provenir d'un calcul d'homogénéisation.

21 Modélisation J

21.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation d'un quart de cylindre.

Eléments de plaque DKT : TRIA3. Affectation de caractéristiques de plaques homogénéisées correspondant au matériau du §1.2.



La géométrie discrétisée est représentée ci-dessus.

| point | noeud |
|-------|-------|
| K | NO1 |
| L | NO11 |
| M | NO161 |
| N | NO227 |
| P | NO6 |
| Q | NO215 |

21.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 231

Nombre de mailles et types : 400 TRIA3 + 80 SEG2

21.3 Conditions aux limites en déplacement et rotation

21.3.1 Pesanteur

Le déplacement DZ est bloqué sur le groupe de nœuds LM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

21.3.2 Cas de dilatation thermique n°1

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSML.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

21.3.3 Cas de dilatation thermique n°2

Le déplacement DZ ainsi que les rotations autour des axes X et Y sont bloqués sur les groupes de nœuds KNSANSKN et LMSANSLM.

Le déplacement DY ainsi que les rotations autour des axes X et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds KL.

Le déplacement DX ainsi que les rotations autour des axes Y et Z sont bloqués sur le groupe de nœuds MN.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe Y sont bloqués sur le groupe de nœuds KETL.

Le déplacement DZ ainsi que la rotation autour de l'axe X sont bloqués sur le groupe de nœuds METN.

21.4 Fonctionnalités testées

Commandes

| | | | |
|----------------|---------------|--------------|-------|
| AFFE_MODELE | AFFE | MODELISATION | 'DKT' |
| AFFE_CARA_ELEM | COQUE | EPAIS | |
| DEFI_MATERIAU | ELAS_COQU | | |
| AFFE_CHAR_MECA | PESANTEUR | | |
| | FORCE_ARETE | | |
| | TEMP_CALCULEE | | |
| MECA_STATIQUE | MODELE | | |
| | CHAM_MATER | | |
| | CARA_ELEM | | |

22 Résultats de la modélisation J

22.1 Valeurs testées

| Identification | Référence | Aster | % différence |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------|
| Pesanteur | | | |
| Déplacement DX du point K | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $2.32796 \cdot 10^{-8}$ | -3.002 |
| Déplacement DY du point N | $-2.40000 \cdot 10^{-8}$ | $-2.32796 \cdot 10^{-8}$ | -3.002 |
| Déplacement DZ du point P | $5.0 \cdot 10^{-9}$ | $5.02845 \cdot 10^{-9}$ | 0.517 |
| Déplacement DZ du point Q | $5.0 \cdot 10^{-9}$ | $5.02845 \cdot 10^{-9}$ | 0.517 |
| Rotation -DRY du point P | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.28975 \cdot 10^{-9}$ | -4.594 |
| Rotation DRX du point Q | $2.40000 \cdot 10^{-9}$ | $2.28975 \cdot 10^{-9}$ | -4.594 |
| Effort normal Nyy, maille M362, point K | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61457 \cdot 10^{-4}$ | -4.818 |
| Effort normal Nyy, maille M400, point N | $8.00000 \cdot 10^{-4}$ | $7.61457 \cdot 10^{-4}$ | -4.818 |
| Dilatation cas 1 | | | |
| Moment Myy, maille M1, point L | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Moment Myy, maille M39, point M | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | $-2.38095 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Dilatation cas 2 | | | |
| Déplacement DX du point L | $26.0 \cdot 10^{-6}$ | $25.9999 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Déplacement DY du point M | $26.0 \cdot 10^{-6}$ | $25.9999 \cdot 10^{-6}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M1, point L | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |
| Effort normal Nyy, maille M39, point M | $-2.00000 \cdot 10^{-1}$ | $-1.99999 \cdot 10^{-1}$ | 0.000 |

22.2 Remarques

Les contraintes locales ne sont pas calculées étant donné que les caractéristiques matériau de la plaque sont supposées provenir d'un calcul d'homogénéisation.

23 Synthèse des résultats

Les très bons résultats obtenus pour les modélisations A et B s'expliquent par le fait que les solutions de référence appartiennent à l'espace engendré par les éléments finis choisis. Seules subsistent les erreurs d'arrondi numérique.

Des résultats satisfaisants ont été obtenus pour les modélisations de plaques et de coques dans l'espace C, D, E, F, G, H, I et J. Pour ces dernières, un calcul thermo-élastique chaîné a été effectué. Les résultats avec la modélisation DKT (E, F, G, H, I et J) montrent que les éléments quadrangle ont un meilleur comportement que les éléments triangle. Il est nécessaire d'avoir une discrétisation suffisamment fine avec ces éléments plans de façon à pouvoir modéliser correctement la géométrie circulaire de la coque cylindrique. En effet, discrétiser la géométrie du cylindre par facettes planes ou paraboliques n'est pas conforme et induit une flexion parasite qui diminue avec la finesse de maillage. Ainsi une multiplication du nombre d'éléments par deux sur la hauteur de la structure fait chuter l'erreur maximale relative de 5,48% (cas présenté ici) à 2,8%. Les résultats avec la modélisation COQUE_3D (C et D) sont très bons sauf pour la pesanteur avec l'élément triangle.

Page laissée intentionnellement blanche.