

## TTLV100 - Choc thermique dans un tuyau avec condition d'échange

---

### Résumé :

Ce test de thermique linéaire transitoire consiste à imposer un choc thermique froid sur un cylindre creux supposé infini à l'aide d'une condition limite d'échange.

Le choc est modélisé par une rampe linéaire  $\Delta T = -269^{\circ}C$  en  $12s$ .

Le problème est traité en axisymétrique et en 3D.

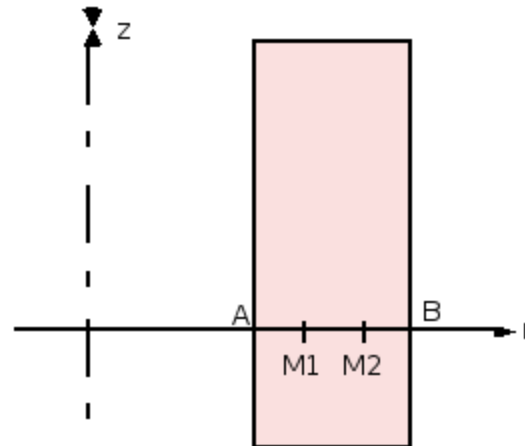
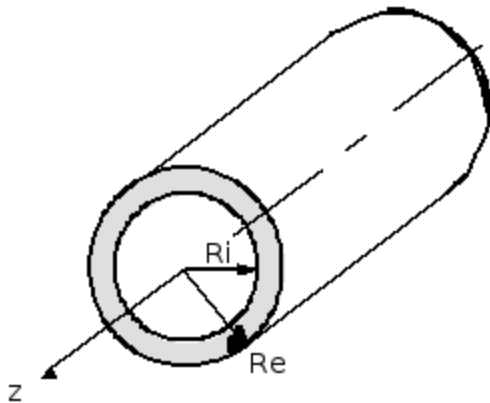
La solution de référence est obtenue sur un maillage fin.

Le test est effectué sur 3 modélisations : (TRIA3, QUAD4), (TRIA6, QUAD9) en AXIS\_DIAG et (HEXA8, PENTA6) en 3D\_DIAG.

On teste l'algorithme de thermique linéaire transitoire lorsque la matrice de masse est diagonalisée (modélisation AXIS\_DIAG et 3D\_DIAG avec "mass lumping").

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



$R_i = 417 \text{ mm}$   
 $R_e = 496 \text{ mm}$

$r(A) = 417 \text{ mm}$   
 $r(B) = 496 \text{ mm}$   
 $r(M1) = 443.43 \text{ mm}$   
 $r(M2) = 469.67 \text{ mm}$

### 1.2 Propriétés de matériaux

$\lambda = 19.97 \text{ W/m}^\circ\text{C}$   
 $\rho C_p = 4.89488 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

$$\text{Echange } \lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{r=r_i} = h (T_{\text{ext}} - T(r, t))$$

$h = 40000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$   
avec  $T_{\text{ext}}(A)_{t=0s} = 289 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_{\text{ext}}(A)_{t=12s} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

### 1.4 Conditions initiales

$T(r, 0) = 289 \text{ }^\circ\text{C}$  pour tout  $r$

Discretisation en temps ( $t$ ) :

|    |          |               |      |                     |
|----|----------|---------------|------|---------------------|
| 12 | pas pour | [0., 12.]     | soit | $\Delta t = 1. s$   |
| 2  | pas pour | [12., 20.]    | soit | $\Delta t = 4. s$   |
| 4  | pas pour | [20., 100.]   | soit | $\Delta t = 20. s$  |
| 2  | pas pour | [100., 200.]  | soit | $\Delta t = 50. s$  |
| 2  | pas pour | [200., 400.]  | soit | $\Delta t = 100. s$ |
| 8  | pas pour | [400., 2000.] | soit | $\Delta t = 200. s$ |

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence est obtenue sur un maillage fin comportant 99 éléments quadratiques QUAD8 dans l'épaisseur sans option de matrice de masse thermique diagonale.

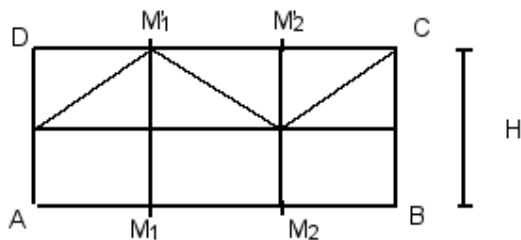
### 2.2 Résultats de référence

Températures aux points  $M1$  ( $r = 443.33$ ) et  $M2$  ( $r = 469.67$ ),  
et à différents instants ( $t = 12.$ ,  $100.$ ,  $600.$  et  $2000.$ ).

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation TRIA3, QUAD4

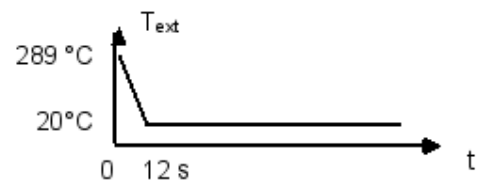
Le cylindre étant supposé infini, on ne maille qu'une tranche de hauteur  $H = 40 \text{ mm}$  avec 2 couches d'éléments.



Conditions limites

sur [AB], [BC] et [CD] : flux nul

sur [AD] : échange  $h, T_{\text{ext}}$



| points | nœuds | r      | z   |
|--------|-------|--------|-----|
| M1     | N10   | 443.33 | 0.0 |
| M2     | N5    | 469.67 | 0.0 |
| M'1    | N11   | 443.33 | 40. |
| M'2    | N7    | 469.67 | 40. |

Conditions initiales  
 $T = 289 \text{ °C}$

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 12  
Nombre de mailles et types : 3 QUAD4, 6 TRIA6

### 3.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification   | Référence | Aster  | % différence |
|------------------|-----------|--------|--------------|
| M1 (r = 443.33)  |           |        |              |
| t = 12.          | 288.64    | 282.63 | -2.08        |
| t = 100.         | 202.76    | 199.84 | -1.44        |
| t = 600.         | 93.027    | 92.821 | -0.22        |
| t = 2000.        | 29.419    | 29.865 | +1.51        |
| M2 (r = 469.67)  |           |        |              |
| t = 12.          | 289.00    | 288.84 | -0.06        |
| t = 100.         | 275.04    | 268.63 | -2.32        |
| t = 600.         | 143.00    | 142.74 | -0.18        |
| t = 2000.        | 35.858    | 36.629 | +2.15        |
| M'1 (r = 443.33) |           |        |              |
| t = 12.          | 288.64    | 283.09 | -1.92        |
| t = 100.         | 202.76    | 206.66 | +1.92        |
| t = 600.         | 93.027    | 93.731 | +0.76        |
| t = 2000.        | 29.419    | 29.988 | +1.93        |
| M'2 (r = 469.67) |           |        |              |
| t = 12.          | 289.00    | 288.82 | -0.06        |
| t = 100.         | 275.04    | 267.66 | -2.68        |

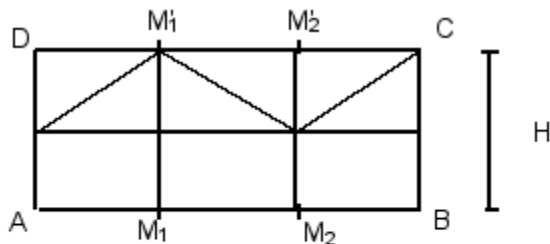
|           |        |        |       |
|-----------|--------|--------|-------|
| t = 600.  | 143.00 | 141.57 | -1.00 |
| t = 2000. | 35.858 | 36.470 | +1.71 |

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

#### TRIA6, QUAD9

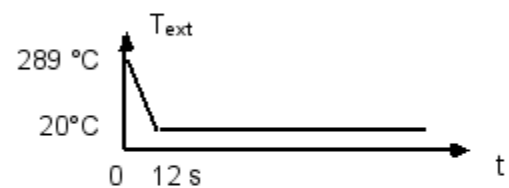
Le cylindre étant supposé infini, on ne maille qu'une tranche de hauteur  $H = 40 \text{ mm}$  avec 2 couches d'éléments.



Conditions limites

sur [AB], [BC] et [CD] : flux nul

sur [AD] : échange  $h, T_{\text{ext}}$



Conditions initiales  
 $T = 289 \text{ °C}$

| points | nœuds | r      | z   |
|--------|-------|--------|-----|
| M1     | N25   | 443.33 | 0.0 |
| M2     | N9    | 469.67 | 0.0 |
| M'1    | N28   | 443.33 | 40. |
| M'2    | N1    | 469.67 | 40. |
|        | 6     |        |     |

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 35

Nombre de mailles et types : 3 QUAD9, 6 TRIA6

### 4.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification   | Référence | Aster  | % différence |
|------------------|-----------|--------|--------------|
| M1 (r = 443.33)  |           |        |              |
| t = 12.          | 288.64    | 286.80 | -0.63        |
| t = 100.         | 202.76    | 202.25 | -0.25        |
| t = 600.         | 93.027    | 92.955 | -0.08        |
| t = 2000.        | 29.419    | 29.524 | +0.36        |
| M2 (r = 469.67)  |           |        |              |
| t = 12.          | 289.00    | 288.99 | +0.00        |
| t = 100.         | 275.04    | 273.35 | -0.61        |
| t = 600.         | 143.00    | 142.99 | -0.00        |
| t = 2000.        | 35.858    | 36.050 | +0.54        |
| M'1 (r = 443.33) |           |        |              |
| t = 12.          | 288.64    | 287.13 | -0.52        |
| t = 100.         | 202.76    | 205.35 | +1.28        |
| t = 600.         | 93.027    | 93.378 | +0.38        |
| t = 2000.        | 29.419    | 29.580 | +0.55        |

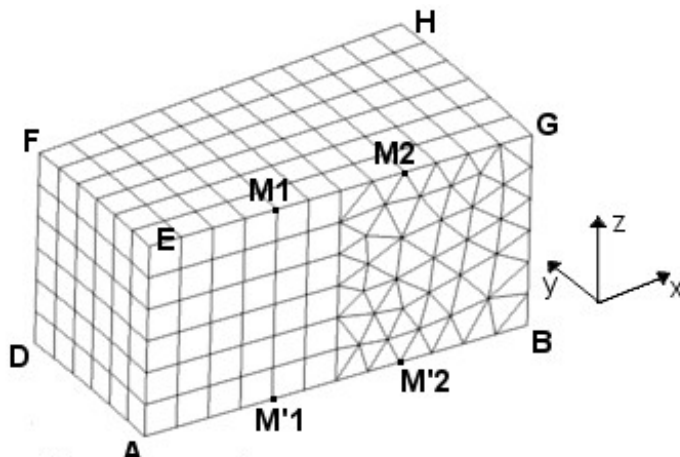
|                  |        |        |       |
|------------------|--------|--------|-------|
| M'2 (r = 469.67) |        |        |       |
| t = 12.          | 289.00 | 288.99 | +0.00 |
| t = 100.         | 275.04 | 272.65 | -0.87 |
| t = 600.         | 143.00 | 142.39 | -0.43 |
| t = 2000.        | 35.858 | 35.972 | +0.32 |

## 5 Modélisation C

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

#### TRIA6, QUAD9

Le cylindre étant supposé infini, on ne maille qu'une tranche de hauteur  $H = 40 \text{ mm}$  avec 2 couches d'éléments.

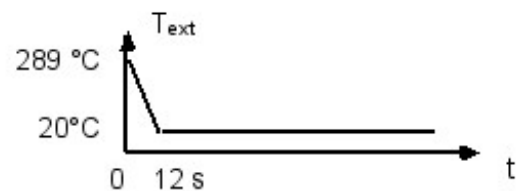


| points | A | nœuds | x      | y   | z     |
|--------|---|-------|--------|-----|-------|
| M1     |   | N179  | 443.33 | 0.0 | 20.0  |
| M2     |   | N616  | 469.67 | 0.0 | 20.0  |
| M'1    |   | N384  | 443.33 | 0.0 | -20.0 |
| M'2    |   | N325  | 469.67 | 0.0 | -20.0 |

Conditions limites

sur face [AEFD] : échange h, T

sur les autres faces : flux nul



Conditions initiales  
 $T = 289 \text{ °C}$

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 637

Nombre de mailles et types : 216 HEXA8, 432 PENTA6

### 5.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification   | Référence | Aster  | % différence |
|------------------|-----------|--------|--------------|
| M1 (r = 443.33)  |           |        |              |
| t = 12.          | 288.64    | 286.08 | -0.88        |
| t = 100.         | 202.76    | 199.12 | -1.80        |
| t = 600.         | 93.027    | 92.43  | -0.64        |
| t = 2000.        | 29.419    | 29.34  | -0.17        |
| Température max  | 289.00    | 289.00 | 0            |
| M2 (r = 469.67)  |           |        |              |
| t = 12.          | 289.00    | 289.00 | 0            |
| t = 100.         | 275.04    | 272.79 | -0.82        |
| t = 600.         | 143.00    | 141.96 | -0.72        |
| t = 2000.        | 35.858    | 35.77  | -0.24        |
| M'1 (r = 443.33) |           |        |              |
| t = 12.          | 288.64    | 286.08 | -0.88        |
| t = 100.         | 202.76    | 199.04 | -1.83        |
| t = 600.         | 93.027    | 92.42  | -0.65        |

|                  |        |        |       |
|------------------|--------|--------|-------|
| t = 2000.        | 29.419 | 29.37  | -0.17 |
| M'2 (r = 469.67) |        |        |       |
| t = 12.          | 289.00 | 289.00 | 0     |
| t = 100.         | 275.04 | 272.80 | -0.81 |
| t = 600.         | 143.00 | 141.97 | -0.72 |
| t = 2000.        | 35.858 | 35.77  | -0.24 |

## 6 Synthèse des résultats

---

La modélisation `AXIS_DIAG` donne des résultats assez satisfaisants. Bien que le maillage ne comporte que 3 éléments dans l'épaisseur, l'écart sur les températures reste inférieur à 2.7 %.

La modélisation `3D_DIAG` donne des résultats satisfaisants. L'écart sur les températures reste inférieur à 2 %.

Malgré la violence du choc thermique, la diagonalisation de la matrice de masse permet d'obtenir une solution en température qui n'oscille pas pendant le transitoire.