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 $\Delta T=-269\,°C$ en $12\,s$.

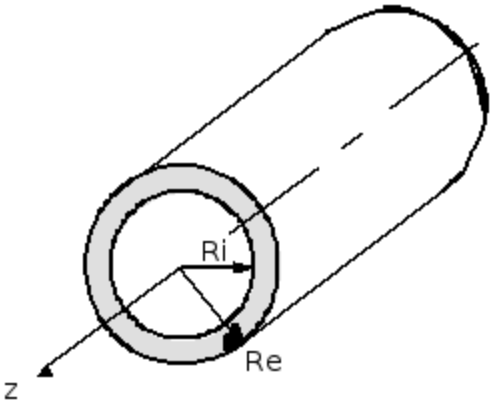
Le problème est traité en axisymétrique et en 3D.
La solution de référence est obtenue sur un maillage fin.
Le test est effectué sur 3 modélisations : (TRIA3, QUAD4), (TRIA6, QUAD9) en AXIS_DIAG et (HEXA8, PENTA6) en 3D_DIAG.

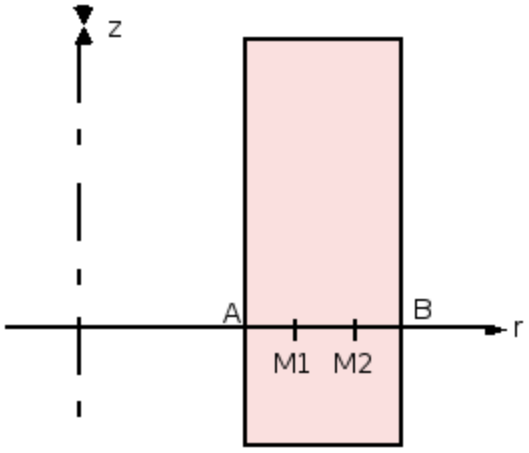
On teste l'algorithme de thermique linéaire transitoire lorsque la matrice de masse est diagonalisée (modélisation AXIS_DIAG et 3D_DIAG avec "*mass lumping*").

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie





Ri = 417 mm
Re = 496 mm

$r(A)=417\,mm$
$r(B)=496\,mm$
$r(M1)=443.43\,mm$
$r(M2)=469.67\,mm$

1.2 Propriétés de matériaux

$\lambda=19.97\,W/m°C$
$\rho C_p=4.89488\,10^6\,J/m^3°C$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Echange $\lambda\dfrac{\partial T}{\partial n}|_{r=r_i}=h\left(T_{ext}-T(r,t)\right)$

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

1.4 Conditions initiales

$T(r,0)=289°C$ pour tout r

Discrétisation 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	$\Delta t=100.\,s$

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

8 pas pour $[400.,2000.]$ soit $\Delta t=200.s$

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

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

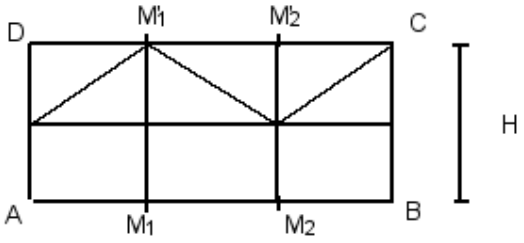
Températures aux points $M1$ ($r=443.33$) et $M2$ ($r=469.67$),
et à différents instants ($t=12.,100.,600.$ et $2000.$).

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

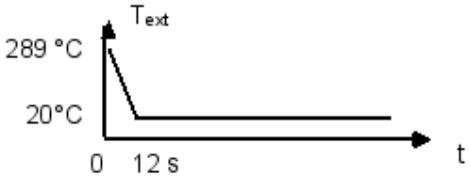
Le cylindre étant supposé infini, on ne maille qu'une tranche de hauteur $H = 40\,mm$ avec 2 couches d'éléments.



Conditions limites

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

sur [AD] : échange h, T_{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 °C

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 12
Nombre de mailles et types : 3 QUAD4, 6 TRIA3

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Précision (%)
M1 (r = 443.33)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	288.64	0,5
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	202.76	0,1
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	93.027	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	29.419	0,1
M2 (r = 469.67)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	289.00	0,1
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	275.04	0,5
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	143.00	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	35.858	0,5
M'1 (r = 443.33)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	288.64	0,5
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	202.76	0,1
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	93.027	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	29.419	0,1
M'2 (r = 469.67)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	289.00	0,1

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

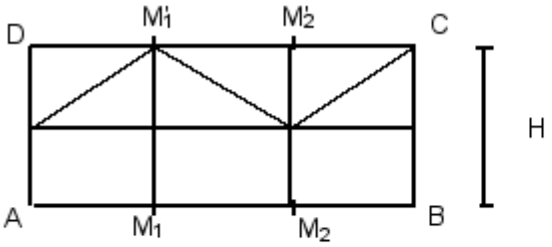
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	275.04	0,5
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	143.00	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	35.858	0,5

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

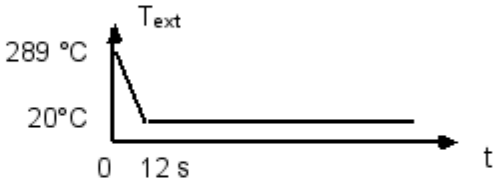
Le cylindre étant supposé infini, on ne maille qu'une tranche de hauteur $H = 40\,mm$ avec 2 couches d'éléments.



Conditions limites

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

sur [AD] : échange h, T_{ext}



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		

Conditions initiales
T = 289 °C

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	Type de référence	Valeur de référence	Précision (%)
M1 (r = 443.33)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	288.64	0,5
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	202.76	0,1
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	93.027	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	29.419	0,1
M2 (r = 469.67)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	289.00	0,1
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	275.04	0,5
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	143.00	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	35.858	0,5
M'1 (r = 443.33)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	288.64	0,5
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	202.76	0,1
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	93.027	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	29.419	0,1
M'2 (r = 469.67)			

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

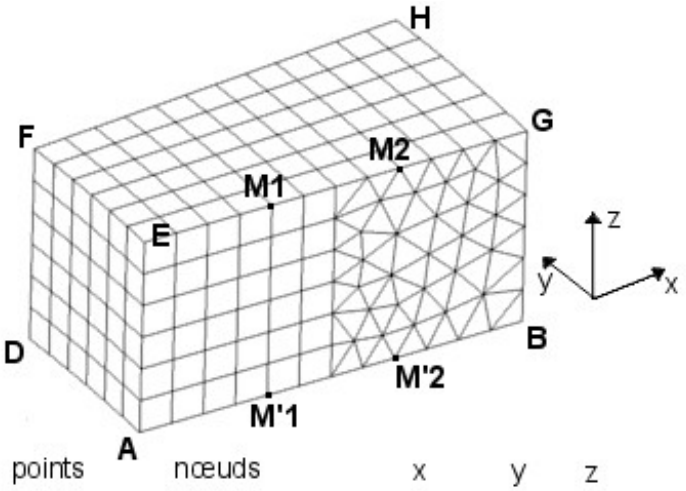
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	289.00	0,1
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	275.04	0,5
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	143.00	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	35.858	0,5

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Le cylindre étant supposé infini, on ne maille qu'une tranche de hauteur $H = 40\,mm$.

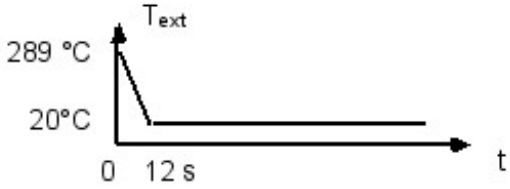


points	nœuds	x	y	z
M1	N179	443.33	0.0	20.0
M2	N616	469.67	0.0	20.0
M'1	N384	443.33	0.0	-20.0
M'2	N325	469.67	0.0	-20.0

Conditions limites

sur face [AEFD] : échange h, T

sur les autres faces : flux nul



Conditions initiales
T = 289 °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	Type de référence	Valeur de référence	Précision (%)
Max($TEMP$) – GROUP_NO 'M1'	'ANALYTIQUE'	289.0	0,1
M1 (r = 443.33)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	288.64	0,5
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	202.76	0,1
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	93.027	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	29.419	0,1
M2 (r = 469.67)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	289.00	0,1
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	275.04	0,5
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	143.00	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	35.858	0,5
M'1 (r = 443.33)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	288.64	0,5
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	202.76	0,1
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	93.027	0,1

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

t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	29.419	0,1
M'2 (r = 469.67)			
t = 12.	'AUTRE_ASTER'	289.00	0,1
t = 100.	'AUTRE_ASTER'	275.04	0,5
t = 600.	'AUTRE_ASTER'	143.00	0,1
t = 2000.	'AUTRE_ASTER'	35.858	0,5

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

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 0.5 %.

La modélisation 3D_DIAG donne des résultats satisfaisants. L'écart sur les températures reste aussi inférieur à 0,5 %.

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

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