

Manuel de Validation

Fascicule V4.22 : Thermique transitoire non-linéaire des structures linéiques Document V4.22.303

TTNL303 - Mur infini soumis à un saut de température avec propriétés variables

Résumé :

Ce test est issu de la validation indépendante de la version 3 en thermique transitoire non linéaire.

Il s'agit d'un problème 1D linéique représenté par quatre modélisations, deux planes et deux volumiques.

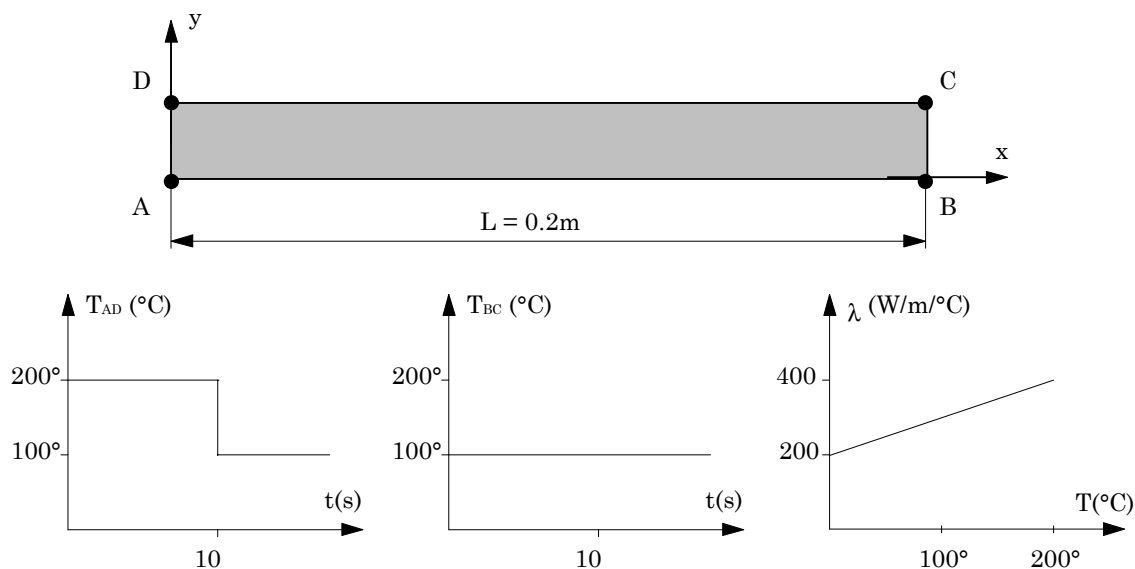
Les fonctionnalités testées sont les suivantes :

- élément thermique plan,
- élément thermique volumique,
- conductivité thermique variable,
- algorithme thermique transitoire non-linéaire,
- conditions limites : température imposée avec saut.

L'intérêt du test réside dans la prise en compte de propriétés variables en analyse transitoire et de la variation des températures imposées en fonction du temps.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



1.2 Propriétés du matériau

$$\begin{aligned} \lambda &= 200 + T \quad (\text{W/m } ^\circ\text{C}) && \text{conductivité thermique} \\ \rho C &= 8 \times 10^6 \quad (\text{J/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}) && \text{chaleur volumique} \end{aligned}$$

1.3 Conditions aux limites et chargements

$$\begin{aligned} x &= 0 & \left| \begin{array}{ll} T = 200^\circ\text{C} & 0 < t \leq 10 \text{ s} \\ T = 100^\circ\text{C} & t > 10 \text{ s} \end{array} \right. \\ x &= L & \left| \begin{array}{ll} T = 100^\circ\text{C} & t \geq 0 \text{ s} \end{array} \right. \end{aligned}$$

1.4 Conditions initiales

$$T(x,0) = 100^\circ\text{C} \quad \text{pour tout } x$$

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence a été obtenue avec le logiciel de calcul par éléments finis "IVOHEAT" [bib2] citée dans la référence [bib1]. Cette solution est basée sur maillage constitué de 20 éléments isoparamétriques à 4 nœuds de taille identique, en utilisant une méthode de Crank-Nicolson modifiée avec une précision de 10^{-6} .

2.2 Résultats de référence

Température à :

- $t = 10$ s pour $x = 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$ et 0.1 ,
- $t = 13$ s pour $x = 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$ et 0.1 .

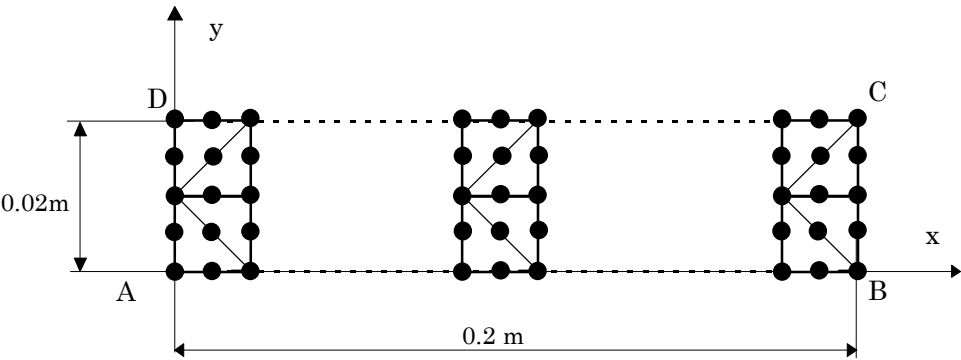
2.3 Références bibliographiques

- [1] S. Orivuori, "Efficient method for solution of nonlinear heat conduction problems", Int. J. num. Meth. Engng, vol 14 , n°10, pp 1461-1476, 1979
- [2] S. Orivuori, "A finite element method applied to the solution of the transient heat conduction problem", Licentiate Thesis, Tech. Univ., Helsinki (1977), in Finnish.

3Modélisation A

3.1Caractéristiques de la modélisation

PLAN (TRIA6)



Conditions limites:

- cotés AB, CD $\varphi = 0$
- coté AD $\begin{cases} T = 200^{\circ}\text{C} & 0 < t \leq 10 \text{ s} \\ T = 100^{\circ}\text{C} & t > 10 \text{ s} \end{cases}$
- coté BC $\begin{cases} T = 100^{\circ}\text{C} & t \geq 0 \text{ s} \end{cases}$

Noeuds	x	y
N11	0.01	0.00
N21	0.02	0.00
N41	0.04	0.00
N61	0.06	0.00
N81	0.08	0.00
N101	0.10	0.00

3.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 205
Nombre de mailles et types : 80 TRIA6

3.3Fonctionnalités testées

Commandes

AFPE_MODELE	THERMIQUE	PLAN	TOUT
DEFI_MATERIAU	THER_NL		
AFPE_CHAR_THER_F	TEMP_IMPO		
THER_NON_LINE	TEMP_INIT	VALE	
	INCREMENT	LIST_INST	
RECU_CHAMP	INST		

3.4Remarques

La discrétisation en pas de temps est la suivante :

- 10 pas pour [0. , 1.D-3] soit $\Delta t = 1.D-4$
- 9 pas pour [1.D-3 , 1.D-2] soit $\Delta t = 1.D-3$
- 9 pas pour [1.D-2 , 1.D-1] soit $\Delta t = 1.D-2$
- 9 pas pour [1.D-1 , 1.D0] soit $\Delta t = 1.D-1$
- 9 pas pour [1.D0 , 10.D0] soit $\Delta t = 1.D0$
- 3 pas pour [10.D0 , 13.D0] soit $\Delta t = 1.D0$

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence	tolérance
Température (°C) à t=10 s				
N11	176.165	174.954	-0.687	2%
N21	153.213	151.049	-1.412	2%
N41	118.600	116.576	-1.707	2%
N61	103.715	103.195	-0.502	2%
N81	100.368	100.417	0.049	2%
N101	100.014	100.088	0.074	2%
Température (°C) à t=13 s				
N11	128.125	128.377	0.197	2%
N21	139.970	139.846	-0.089	2%
N41	124.719	122.209	-2.013	2%
N61	107.182	106.279	-0.842	2%
N81	101.290	101.186	-0.103	2%
N101	100.134	100.203	0.067	2%

4.2 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

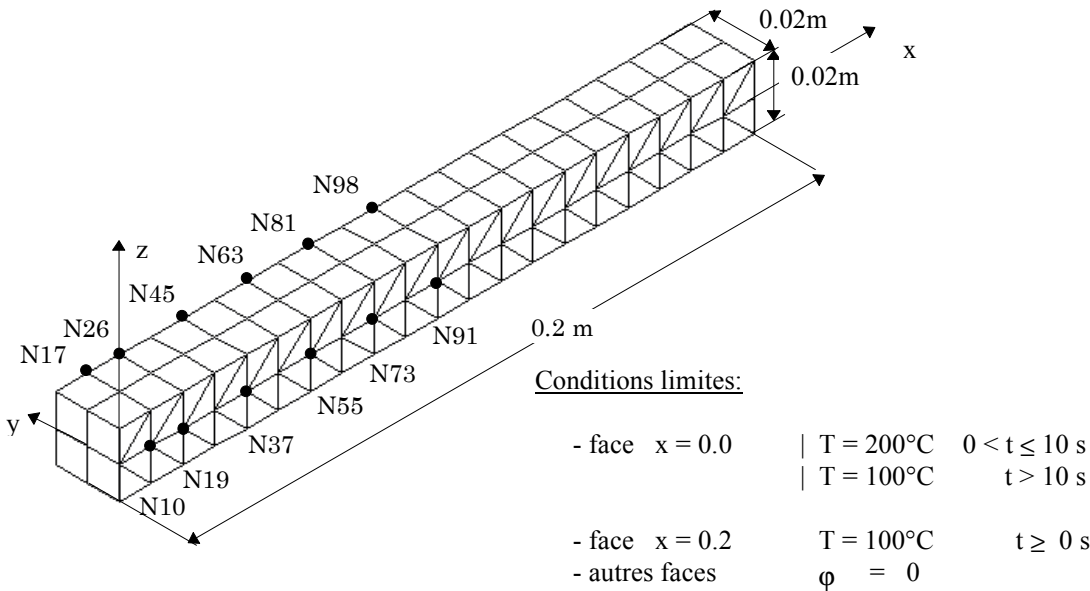
Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 10.26 secondes

5Modélisation B

5.1Caractéristiques de la modélisation

3D (PENTA6)



5.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 189
Nombre de mailles et types : 160 PENTA6

5.3Fonctionnalités testées

Commandes			
AFFE_MODELE	THERMIQUE	3D	TOUT
DEFI_MATERIAU	THER_NL		
AFFE_CHAR_THER_F	TEMP_IMPO		
THER_NON_LINE	TEMP_INIT	VALE	
	INCREMENT	LIST_INST	
RECU_CHAMP	INST		

5.4Remarques

La discrétisation en pas de temps est la suivante :

- 10 pas pour [0. , 1.D-3] soit $\Delta t = 1.D-4$
- 9 pas pour [1.D-3 , 1.D-2] soit $\Delta t = 1.D-3$
- 9 pas pour [1.D-2 , 1.D-1] soit $\Delta t = 1.D-2$
- 9 pas pour [1.D-1 , 1.D0] soit $\Delta t = 1.D-1$
- 9 pas pour [1.D0 , 10.D0] soit $\Delta t = 1.D0$
- 3 pas pour [10.D0 , 13.D0] soit $\Delta t = 1.D0$

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence	tolérance
Température (°C) à t=10 s				
N10	176.165	175.087	-0.612	2%
N17	176.165	174.910	-0.713	2%
N19	153.213	151.182	-1.326	2%
N26	153.213	151.020	-1.431	2%
N37	118.600	116.314	-1.928	2%
N45	118.600	116.379	-1.872	2%
N55	103.715	102.759	-0.921	2%
N63	103.715	102.892	-0.793	2%
N73	100.368	100.239	-0.129	2%
N81	100.368	100.285	-0.083	2%
N91	100.014	100.060	0.046	2%
N98	100.014	100.066	0.052	2%
Température (°C) à t=13 s				
N10	128.125	129.395	0.991	2%
N17	128.125	128.291	0.130	2%
N19	139.970	139.819	-0.108	2%
N26	139.970	140.209	0.171	2%
N37	124.719	122.986	-1.390	2%
N45	124.719	122.569	-1.724	2%
N55	107.182	105.967	-1.134	2%
N63	107.182	106.050	-1.056	2%
N73	101.290	100.945	-0.341	2%
N81	101.290	101.005	-0.282	2%
N91	100.134	100.126	-0.008	2%
N98	100.134	100.142	0.008	2%

6.2 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 11.30 secondes

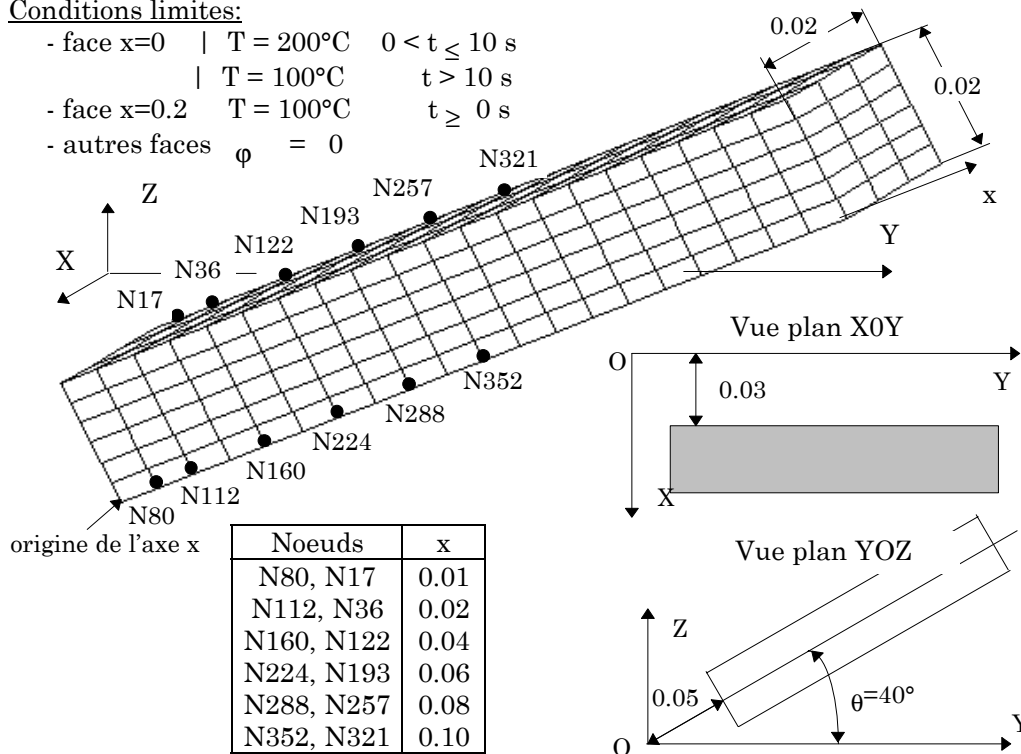
7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

3D (HEXA8)

Conditions limites:

- face $x=0$ | $T = 200^{\circ}\text{C}$ $0 < t \leq 10 \text{ s}$
- | $T = 100^{\circ}\text{C}$ $t > 10 \text{ s}$
- face $x=0.2$ $T = 100^{\circ}\text{C}$ $t \geq 0 \text{ s}$
- autres faces $\varphi = 0$



7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 588
Nombre de mailles et types : 360 HEXA8

7.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE	THERMIQUE	3D	TOUT
DEFI_MATERIAU	THER_NL		
AFFE_CHAR_THER_F	TEMP_IMPO		
THER_NON_LINE	TEMP_INIT	VALE	
	INCREMENT	LIST_INST	
RECU_CHAMP	INST		

7.4 Remarques

La discrétisation en pas de temps est la suivante :

- 10 pas pour [0. , 1.D-3] soit $\Delta t = 1.D-4$
- 9 pas pour [1.D-3 , 1.D-2] soit $\Delta t = 1.D-3$
- 9 pas pour [1.D-2 , 1.D-1] soit $\Delta t = 1.D-2$
- 9 pas pour [1.D-1 , 1.D0] soit $\Delta t = 1.D-1$
- 9 pas pour [1.D0 , 10.D0] soit $\Delta t = 1.D0$
- 3 pas pour [10.D0 , 13.D0] soit $\Delta t = 1.D0$

8 Résultats de la modélisation C

8.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	Ecart relatif %		Ecart Absolu	
			différence	tolérance	différence	tolérance
Température (°C)						
t = 10 s						
N80	176.165	174.992	−0.666	2%	−1.17	3.0
N17	176.165	174.992	−0.666	2%	−1.17	3.0
N112	153.213	151.092	−1.384	2%	−2.12	3.0
N36	153.213	151.092	−1.384	2%	−2.12	3.0
N160	118.600	116.331	−1.913	2%	−2.27	3.0
N122	118.600	116.331	−1.913	2%	−2.27	3.0
N224	103.715	102.817	−0.866	2%	−0.898	3.0
N193	103.715	102.817	−0.866	2%	−0.898	3.0
N288	100.368	100.265	−0.102	2%	−0.103	3.0
N257	100.368	100.265	−0.102	2%	−0.103	3.0
N352	100.014	100.066	0.052	2%	0.052	3.0
N321	100.014	100.066	0.052	2%	0.052	3.0
t = 13 s						
N80	128.125	128.829	0.550	2%	0.704	3.0
N17	128.125	128.829	0.550	2%	0.704	3.0
N112	139.970	139.893	−0.055	2%	−0.077	3.0
N36	139.970	139.893	−0.055	2%	−0.077	3.0
N160	124.719	122.718	−1.605	2%	−2.00	3.0
N122	124.719	122.718	−1.605	2%	−2.00	3.0
N224	107.182	105.988	−1.114	2%	−1.19	3.0
N193	107.182	105.988	−1.114	2%	−1.19	3.0
N288	101.290	100.974	−0.312	2%	−0.316	3.0
N257	101.290	100.974	−0.312	2%	−0.316	3.0
N352	100.134	100.136	0.002	2%	0.002	3.0
N321	100.134	100.136	0.002	2%	0.002	3.0

8.2 Paramètres d'exécution

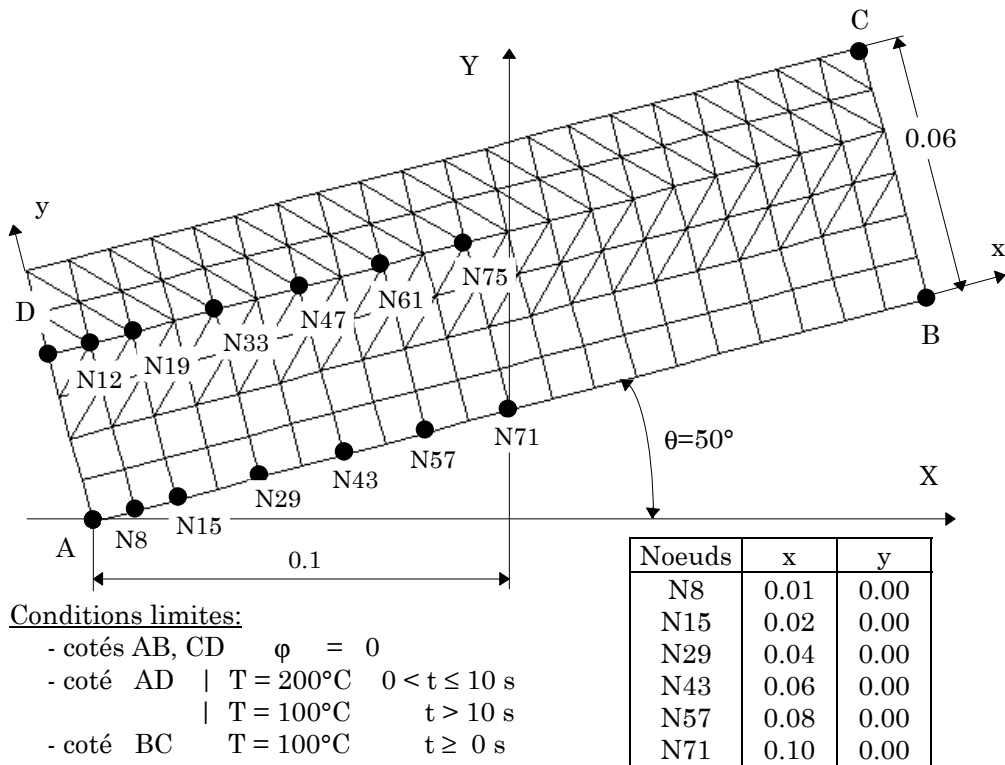
Version : 5.03
Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000
Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 16.56 secondes

9Modélisation D

9.1Caractéristiques de la modélisation

PLAN (TRIA3, QUAD4)



9.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 147
Nombre de mailles et types : 200 (40 QUAD4, 160 TRIA3)

9.3Fonctionnalités testées

Commandes			
AFFE_MODELE	THERMIQUE	PLAN	TOUT
DEFI_MATERIAU	THER_NL		
AFFE_CHAR_THER_F	TEMP_IMPO		
THER_NON_LINE	TEMP_INIT	VALE	
	INCREMENT	LIST_INST	
RECU_CHAMP	INST		

9.4Remarques

La discrétisation en pas de temps est la suivante :

10 pas	pour	[0. , 1.D-3]	soit	$\Delta t = 1.D-4$
9 pas	pour	[1.D-3 , 1.D-2]	soit	$\Delta t = 1.D-3$
9 pas	pour	[1.D-2 , 1.D-1]	soit	$\Delta t = 1.D-2$
9 pas	pour	[1.D-1 , 1.D0]	soit	$\Delta t = 1.D-1$
9 pas	pour	[1.D0 , 10.D0]	soit	$\Delta t = 1.D0$
3 pas	pour	[10.D0 , 13.D0]	soit	$\Delta t = 1.D0$

10 Résultats de la modélisation D

10.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	Ecart relatif %		Ecart Absolu	
			différence	tolérance	différence	tolérance
Température (°C)						
t = 10 s						
N8	176.165	174.997	-0.663	2%	-1.17	3.0
N12	176.165	175.154	-0.574	2%	-1.01	3.0
N15	153.213	151.117	-1.368	2%	-2.10	3.0
N19	153.213	151.246	-1.284	2%	-1.97	3.0
N29	118.600	116.416	-1.842	2%	-2.18	3.0
N33	118.600	116.246	-1.985	2%	-2.35	3.0
N43	103.715	102.884	-0.801	2%	-0.831	3.0
N47	103.715	102.664	-1.014	2%	-1.05	3.0
N57	100.368	100.283	-0.084	2%	-0.085	3.0
N61	100.368	100.208	-0.159	2%	-0.160	3.0
N71	100.014	100.067	0.053	2%	0.053	3.0
N75	100.014	100.057	0.043	2%	0.044	3.0
t = 13 s						
N8	128.125	128.512	0.302	2%	0.387	3.0
N12	128.125	129.103	0.764	2%	0.978	3.0
N15	139.970	139.689	-0.201	2%	-0.281	3.0
N19	139.970	140.233	0.188	2%	0.263	3.0
N29	124.719	122.723	-1.601	2%	-2.00	3.0
N33	124.719	123.198	-1.220	2%	-1.52	3.0
N43	107.182	106.051	-1.055	2%	-1.13	3.0
N47	107.182	105.887	-1.209	2%	-1.30	3.0
N57	101.290	101.004	-0.282	2%	-0.286	3.0
N61	101.290	100.902	-0.383	2%	-0.388	3.0
N71	100.134	100.143	0.009	2%	0.009	3.0
N75	100.134	100.116	-0.018	2%	0.018	3.0

10.2 Paramètres d'exécution

Version : 5.03
Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000
Encombrement mémoire : 8 mégamots
Temps CPU User : 11.06 secondes

11 Synthèse des résultats

Une modélisation parmi les quatre modélisations effectuées donnent des résultats dont une valeur dépasse de peu la tolérance fixée initialement (2%). L'écart maximum est de :

- 2.013% pour la modélisation PLAN (TRIA6),
- 1.928% pour la modélisation 3D (PENTA6),
- 1.913% pour la modélisation 3D (HEXA8),
- 1.985% pour la modélisation PLAN (TRIA3, QUAD4).

On constate que cet écart est quel que soit la modélisation proche de 2%, toutes les modélisations effectuées, ont le même découpage dans le sens de propagation de la température.

Les résultats obtenus sont considérés comme acceptables pour l'ensemble des modélisations

Ce test a permis de tester la prise en compte d'une conductivité thermique variable avec une condition limite variant au cours du temps.