TPNA300 - Tube générateur de chaleur avec conductivité variable

Résumé :

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

Il s'agit d'un problème 2D axisymétrique représenté par quatre modélisations, deux axisymétriques, une plane et la dernière volumique.

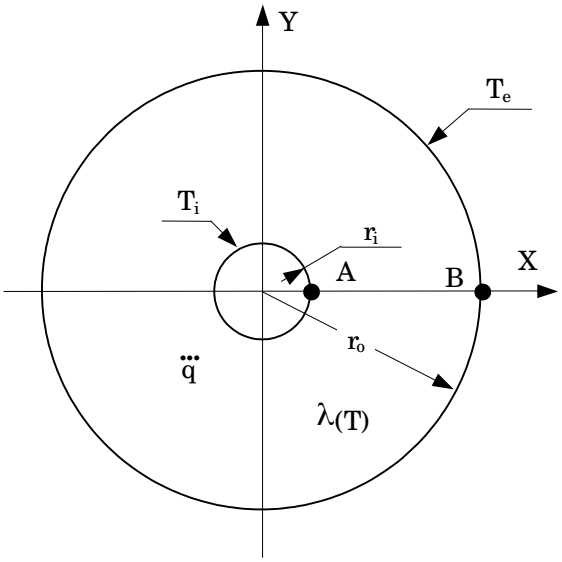
Les fonctionnalités testées sont les suivantes :
- élément thermique axisymétrique,
- élément thermique plan,
- élément thermique volumique,
- propriétés variables,
- conditions limites (source de chaleur, température imposée).

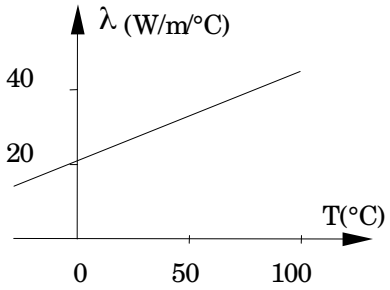
L'intérêt du test réside dans la prise en compte de propriétés variables et du comportement non linéaire.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie





$r_i = 6.35 . 10^{-3} m$
$r_e = 25.4 . 10^{-3} m$

1.2 Propriétés du matériau

$\lambda = C_0 + C_1 T \; W/m° C$ Conductivité thermique
avec
$C_0 = 21.461 \; W/m° C$
$C_1 = 0.234 \; W/m° C^2$

1.3 Conditions aux limites et chargements

- surface intérieure : $T_i = -17.78 ° C$
- surface extérieure : $T_e = -17.78 ° C$
- source de chaleur : $Q = 1.035 . 10^7 W/m3$

1.4 Conditions initiales

Sans objet.

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 originale donnée dans le livre [bib1] est basée sur une estimation graphique. Cette référence est citée dans le manuel de vérification d'ANSYS [bib2].

2.2 Résultats de référence

Température le long de AB avec $\Delta r = 2.167\, mm$

2.3 Incertitude sur la solution

Inconnue, il n'a pas été possible de se procurer la référence originale (livre ancien, plus édité).

2.4 Références bibliographiques

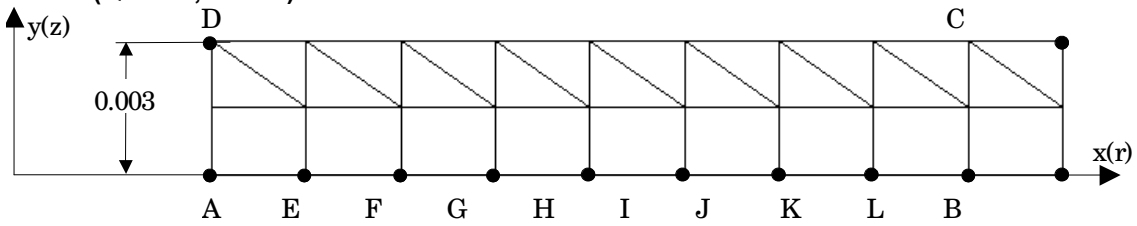
1. Schneider, P.J., " Conduction Heat Transfer ", Addison-Wesley Publishing Co., Inc. Reading, Mass., 2nd Printing, 1957.
2. ANSYS, " verification manual", 1st edition, June 1, 1976

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

AXIS (QUAD4, TRIA3)



Conditions aux limites:

- cotés AB, CD: $\phi = 0$
- cotés AD, BC: T=-17.78°C

Noeud	r (10^{-3}m)	z (10^{-3}m)	Points	Noeud	r (10^{-3}m)	z (10^{-3}m)
N4	8.47	0.0	E	N6	8.47	3.0
N7	10.58	0.0	F	N9	10.58	3.0
N10	12.70	0.0	G	N12	12.70	3.0
N13	14.82	0.0	H	N15	14.82	3.0
N16	16.92	0.0	I	N18	16.92	3.0
N19	19.05	0.0	J	N21	19.05	3.0
N22	21.17	0.0	K	N24	21.17	3.0
N25	23.28	0.0	L	N27	23.28	3.0

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 30
Nombre de mailles et types : 27 : (9 QUAD4, 18 TRIA3)

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

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

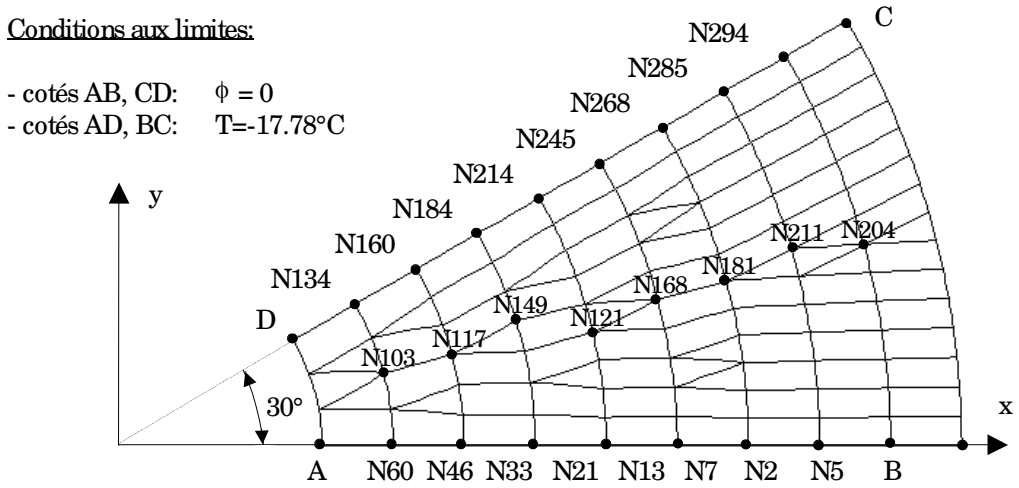
Identification	Référence	*Aster*	% différence	tolérance
Température (°C)				
N4	-5.00	-4.92	-1.70	5%
N7	2.22	2.06	**-7.35**	5%
N10	5.56	5.57	0.10	5%
N13	6.67	6.60	-1.07	5%
N16	5.56	5.60	0.76	5%
N19	2.78	2.76	-0.71	5%
N22	-1.67	-1.93	**15.30**	5%
N25	-8.89	-8.63	-2.90	5%
N6	-5.00	-4.96	-0.87	5%
N9	2.22	2.04	**-8.18**	5%
N12	5.56	5.56	0.04	5%
N15	6.67	6.60	-1.02	5%
N18	5.56	5.61	0.91	5%
N21	2.78	2.77	-0.26	5%
N24	-1.67	-1.91	**14.24**	5%
N27	-8.89	-8.61	-3.17	5%

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

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

PLAN (QUAD8, TRIA6)



5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds :	300
Nombre de mailles et types :	95 (73 QUAD8, 22 TRIA6)

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

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

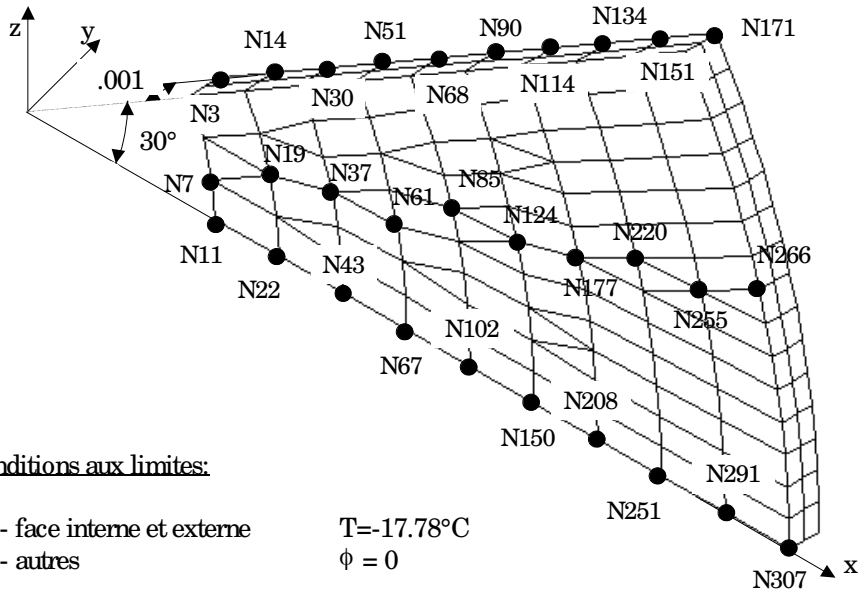
Identification	Référence	*Aster*	% différence	tolérance
Température (°C)				
N60	-5.00	-4.84	-3.194	5%
N46	2.22	2.14	-3.491	5%
N33	5.56	5.65	1.544	5%
N21	6.67	6.66	-0.082	5%
N13	5.56	5.65	1.694	5%
N7	2.78	2.80	0.665	5%
N2	-1.67	-1.90	**13.788**	5%
N5	-8.89	-8.62	-3.089	5%
N134	-5.00	-4.84	-3.194	5%
N160	2.22	2.14	-3.491	5%
N184	5.56	5.65	1.543	5%
N214	6.67	6.66	-0.082	5%
N245	5.56	5.65	1.694	5%
N268	2.78	2.80	0.665	5%
N285	-1.67	-1.90	**13.737**	5%
N294	-8.89	-8.62	-3.089	5%
N103	-5.00	-4.84	-3.141	5%
N117	2.22	2.15	-3.365	5%
N149	5.56	5.65	1.557	5%
N121	6.67	6.66	-0.078	5%
N168	5.56	5.65	1.694	5%
N181	2.78	2.80	0.650	5%
N211	-1.67	-1.90	**13.777**	5%
N204	-8.89	-8.62	-3.075	5%

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

7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

3D (HEXA8, PENTA6)



Conditions aux limites:

- face interne et externe	T=-17.78°C
- autres	$\phi = 0$

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds :	309
Nombre de mailles et types :	190 (144 HEXA8, 46 PENTA6)

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

8 Résultats de la modélisation C

8.1 Valeurs testées

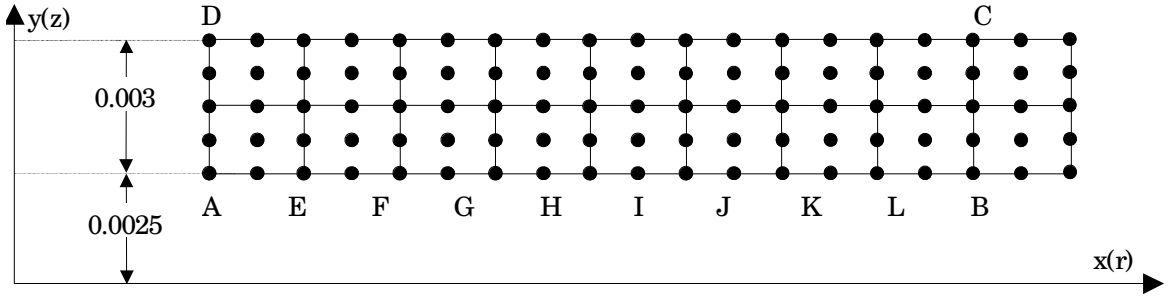
Identification	Référence	*Aster*	% différence	tolérance
Température (°C)				
N22	-5.00	-4.90	-1.909	5%
N43	2.22	2.09	**-5.933**	5%
N67	5.56	5.58	0.408	5%
N102	6.67	6.63	-0.561	5%
N150	5.56	5.62	0.993	5%
N208	2.78	2.77	-0.217	5%
N251	-1.67	-1.92	**15.047**	5%
N291	-8.89	-8.63	-2.960	5%
N14	-5.00	-4.90	-1.908	5%
N30	2.22	2.09	**-5.933**	5%
N51	5.56	5.58	0.408	5%
N68	6.67	6.63	-0.561	5%
N90	5.56	5.62	0.993	5%
N114	2.78	2.77	-0.217	5%
N134	-1.67	-1.92	**15.047**	5%
N151	-8.89	-8.63	-2.960	5%
N19	-5.00	-4.93	-1.440	5%
N37	2.22	2.16	-2.596	5%
N61	5.56	5.54	-0.274	5%
N85	6.67	6.65	-0.260	5%
N124	5.56	5.60	0.705	5%
N177	2.78	2.82	1.536	5%
N220	-1.67	-1.90	**13.946**	5%
N255	-8.89	-8.58	-3.474	2%

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

9 Modélisation D

9.1 Caractéristiques de la modélisation

AXIS (QUAD9)



Conditions aux limites:

- cotés AB, CD: $\phi = 0$
- cotés AD, BC: T=-17.78°C

Noeud	r (10^{-3}m)	z (10^{-3}m)	Points	Noeud	r (10^{-3}m)	z (10^{-3}m)
N11	8.47	2.5	E	N15	8.47	5.5
N21	10.58	2.5	F	N25	10.58	5.5
N31	12.70	2.5	G	N35	12.70	5.5
N41	14.82	2.5	H	N45	14.82	5.5
N51	16.92	2.5	I	N55	16.92	5.5
N61	19.05	2.5	J	N65	19.05	5.5
N71	21.17	2.5	K	N75	21.17	5.5
N81	23.28	2.5	L	N85	23.28	5.5

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 95
Nombre de mailles et types : 18 QUAD9

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

10 Résultats de la modélisation D

10.1 Valeurs testées

			Ecart relatif %		Ecart Absolu	
Identification	**Référence**	***Aster***	**différence**	**tolérance**	**différence**	**tolérance**
Température (°C)						
N11	-5.00	-4.83	-3.333	5%	0.167	0.3
N21	2.22	2.15	-3.347	5%	-0.074	0.3
N31	5.56	5.65	1.551	5%	0.086	0.3
N41	6.67	6.66	-0.078	5%	-0.005	0.3
N51	5.56	5.65	1.694	5%	0.094	0.3
N61	2.78	2.80	0.663	5%	0.018	0.3
N71	-1.67	-1.90	**13.741**	5%	-0.229	0.3
N81	-8.89	-8.62	-3.088	5%	0.275	0.3
N15	-5.00	-4.83	-3.333	5%	0.167	0.3
N25	2.22	2.15	-3.347	5%	-0.074	0.3
N35	5.56	5.65	1.551	5%	0.082	0.3
N45	6.67	6.66	-0.078	5%	-0.005	0.3
N55	5.56	5.65	1.694	5%	0.094	0.3
N65	2.78	2.80	0.663	5%	0.018	0.3
N75	-1.67	-1.90	**13.741**	5%	-0.229	0.3
N85	-8.89	-8.62	-3.088	5%	0.275	0.3

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

11 Modélisation E

Même modélisation que le cas B mais on utilise des éléments finis HHO quadratique. Les résultats sont du même ordre de grandeur que les autres.

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

12 Synthèse des résultats

Les quatre modélisations donnent des résultats dont certaines valeurs dépassent la tolérance fixée initialement (5%):

- pour la modélisation A (AXIS : QUAD4,TRIA3), l'écart maximum est de 15,3% et 4 valeurs sur 16 dépassent la tolérance,
- pour la modélisation B (PLAN : QUAD8,TRIA6), l'écart maximum est de 13,8% et 3 valeurs sur 24 dépassent la tolérance,
- pour la modélisation C (3D : HEXA8, PENTA6), l'écart maximum est de 15% et 5 valeurs sur 24 dépassent la tolérance,
- pour la modélisation D (AXIS : QUAD9), l'écart maximum est de 13,7% et 4 valeurs sur 16 dépassent la tolérance.

Ces dépassements de tolérance sont observés pour des valeurs proche de 0.

Les calculs ont été effectués en °C. La détermination de l'écart, en considérant les températures en °F (comme dans la solution de référence), donne un écart maximum très différent de celui obtenu en °C (3% au lieu de 15%).

De plus, il n'a pas été possible de se procurer la référence originale (livre de Kreith), citée dans le manuel de vérification d'ANSYS. La méthode d'obtention de la solution de référence (estimation graphique) et son incertitude ne sont donc pas connues.

Les résultats sont considérés comme acceptables compte tenu des points évoqués ci-dessus.

Ce test a permis de tester la prise en compte une conductivité thermique variable au sein de plusieurs modélisations. Les principales commandes testées sont les suivantes:

- DEFI_MATERIAU associé au mot clé THER_NL, permettant de définir les caractéristiques d'un matériau dont les caractéristiques varient en fonction de la température,
- THER_NON_LINE commande permettant la résolution d'un problème non linéaire thermique stationnaire ou non.

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