

## 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.

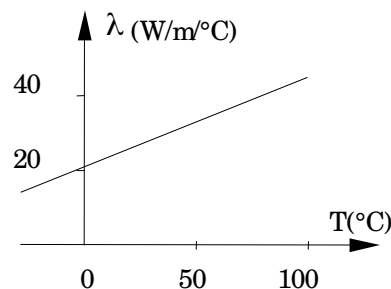
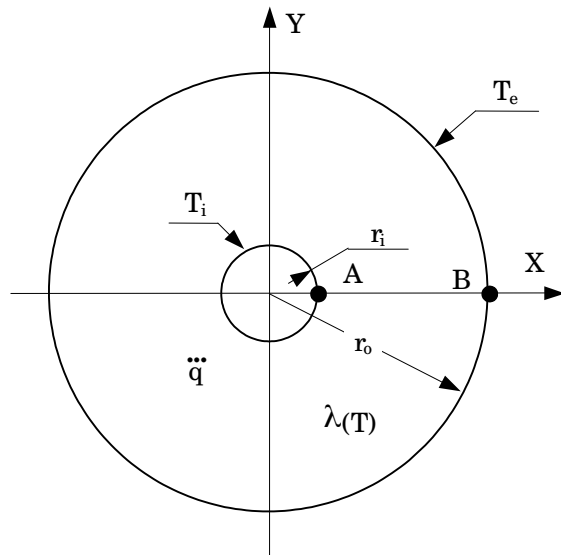
Les fonctionnalités testées sont les suivantes :

- 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.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



$$r_i = 6.35 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$r_o = 25.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

### 1.2 Propriétés du matériau

$$\lambda = C_0 + C_1 T \text{ W/m}^\circ \text{ C} \quad \text{Conductivité thermique}$$

avec

$$C_0 = 21.461 \text{ W/m}^\circ \text{ C}$$

$$C_1 = 0.234 \text{ W/m}^\circ \text{ C}^2$$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

- surface intérieure :  $T_i = -17.78^\circ \text{ C}$
- surface extérieure :  $T_e = -17.78^\circ \text{ C}$
- source de chaleur :  $Q = 1.035 \cdot 10^7 \text{ W/m}^3$

### 1.4 Conditions initiales

Sans objet.

## 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  $\Delta r = 2.167 \text{ mm}$

### 2.3 Incertitude sur la solution

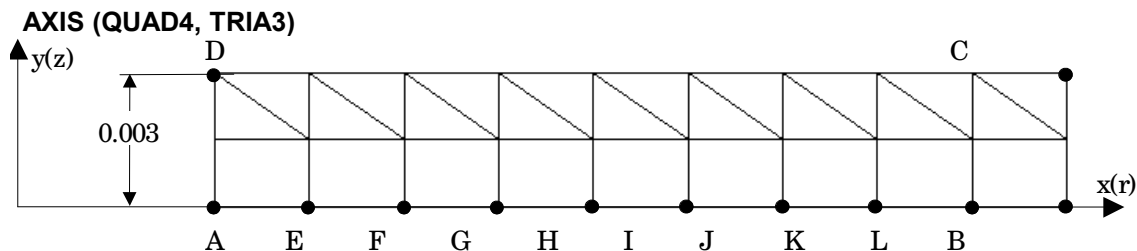
Inconnue, il n'a pas été possible de se procurer la référence originale (livre ancien, plus édité).

### 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

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation



Conditions aux limites:

- cotés AB, CD:  $\phi = 0$
- cotés AD, BC:  $T = -17.78^\circ\text{C}$

| Noeud | r<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) | z<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) | Points | Noeud | r<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) | z<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) |
|-------|----------------------------|----------------------------|--------|-------|----------------------------|----------------------------|
| 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)

## 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  | <b>-7.35</b> | 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 | <b>15.30</b> | 5%        |
| N25              | -8.89     | -8.63 | -2.90        | 5%        |
| N6               | -5.00     | -4.96 | -0.87        | 5%        |
| N9               | 2.22      | 2.04  | <b>-8.18</b> | 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 | <b>14.24</b> | 5%        |
| N27              | -8.89     | -8.61 | -3.17        | 5%        |

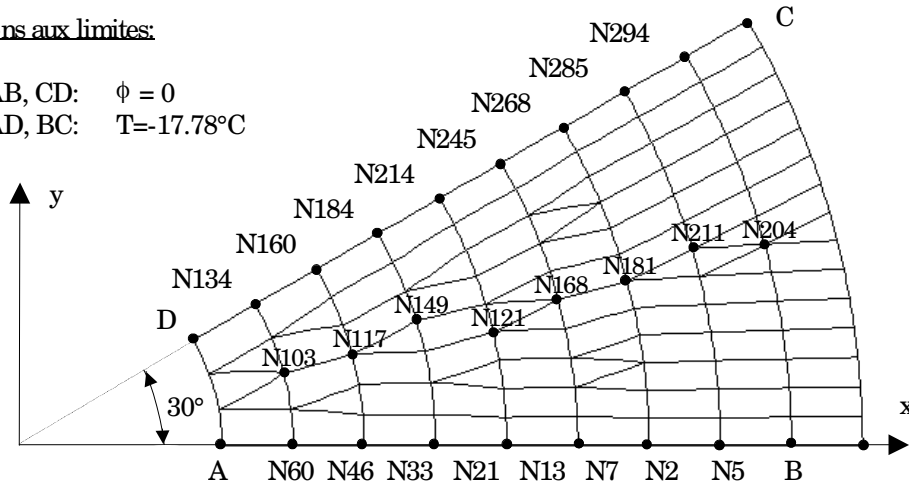
## 5 Modélisation B

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

PLAN (QUAD8, TRIA6)

Conditions aux limites:

- cotés AB, CD:  $\phi = 0$
- cotés AD, BC:  $T = -17.78^\circ\text{C}$



### 5.2 Caractéristiques du maillage

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

## 6 Résultats de la modélisation B

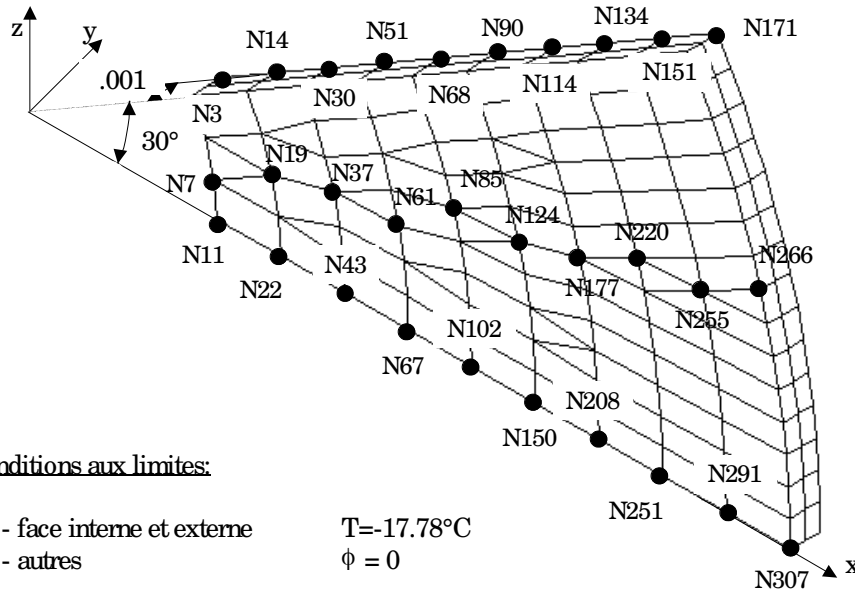
### 6.1 Valeurs testées

| 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 | <b>13.788</b> | 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 | <b>13.737</b> | 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 | <b>13.777</b> | 5%        |
| N204             | -8.89     | -8.62 | -3.075        | 5%        |

## 7 Modélisation C

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

3D (HEXA8, PENTA6)



Conditions aux limites:

- face interne et externe  $T = -17.78^\circ\text{C}$
- autres  $\phi = 0$

### 7.2 Caractéristiques du maillage

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



## 8 Résultats de la modélisation C

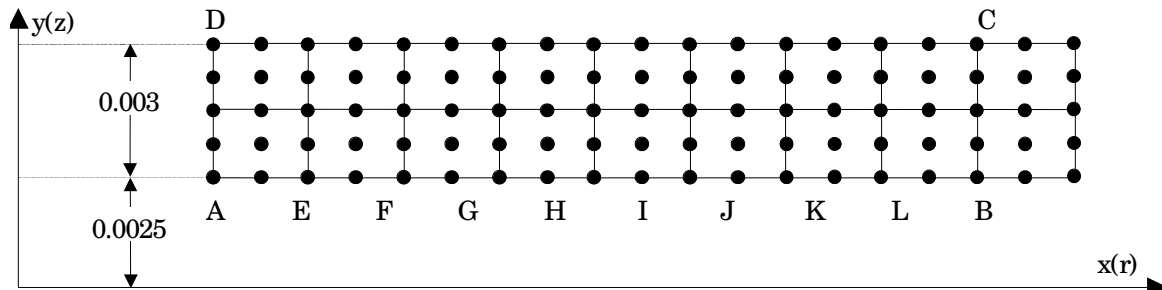
### 8.1 Valeurs testées

| Identification   | Référence | Aster | % différence  | tolérance |
|------------------|-----------|-------|---------------|-----------|
| Température (°C) |           |       |               |           |
| N22              | -5.00     | -4.90 | -1.909        | 5%        |
| N43              | 2.22      | 2.09  | <b>-5.933</b> | 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 | <b>15.047</b> | 5%        |
| N291             | -8.89     | -8.63 | -2.960        | 5%        |
|                  |           |       |               |           |
| N14              | -5.00     | -4.90 | -1.908        | 5%        |
| N30              | 2.22      | 2.09  | <b>-5.933</b> | 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 | <b>15.047</b> | 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 | <b>13.946</b> | 5%        |
| N255             | -8.89     | -8.58 | -3.474        | 2%        |

## 9 Modélisation D

### 9.1 Caractéristiques de la modélisation

AXIS (QUAD9)



Conditions aux limites:

- cotés AB, CD:  $\phi = 0$
- cotés AD, BC:  $T = -17.78^\circ\text{C}$

| Noeud | r<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) | z<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) | Points | Noeud | r<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) | z<br>( $10^{-3}\text{m}$ ) |
|-------|----------------------------|----------------------------|--------|-------|----------------------------|----------------------------|
| 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

## 10 Résultats de la modélisation D

### 10.1 Valeurs testées

| Identification   | Référence | Aster | Ecart relatif % |           | Ecart Absolu |           |
|------------------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|-----------|
|                  |           |       | 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 | <b>13.741</b>   | 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 | <b>13.741</b>   | 5%        | -0.229       | 0.3       |
| N85              | -8.89     | -8.62 | -3.088          | 5%        | 0.275        | 0.3       |

## 11 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.