# TPNV01 - Sphère creuse : convection, rayonnement

**Résumé :**

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

Il s'agit d'un problème volumique représenté par deux modélisations, l'une 3D, l'autre axisymétrique.

Les fonctionnalités testées sont les suivantes :
- élément thermique 3D,
- élément thermique axisymétrique,
- conditions limites de convection et de rayonnement.

L'intérêt du test réside dans la prise en compte du rayonnement.

Les résultats sont comparés à une solution analytique sur un test VPCS.

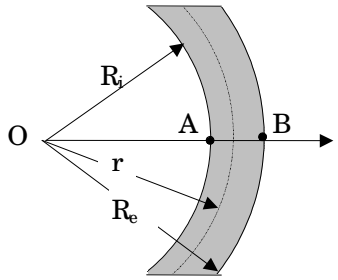


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

Rayon intérieur $R_i = 0.300$ m
Rayon extérieur $R_e = 0.392$ m




## 1.2 Propriétés du matériau

$\lambda = 40\, W/m\,°C$ Conductivité thermique
$\rho C = 1\, J/m^3\,°C$ Chaleur volumique

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

- Surface interne : rayonnement, $\varepsilon = 0.6$ (coefficient de corps gris), $T_i^e = 500.0\,°C$,
- Surface externe : convection, $h_e = 133.5\, W/m^2\,°C$, $T_e^e = 20.0\,°C$.

## 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

$$T(r)=\frac{T_e-T_i}{\frac{1}{R_e}-\frac{1}{R_i}}\frac{1}{r}+\frac{\frac{T_i}{R_e}-\frac{T_e}{R_i}}{\frac{1}{R_e}-\frac{1}{R_i}}$$

$$\varphi_e=h_e(T_e-T_e^e)\ ,\ \phi=4\pi R_e^2 h_e(T_e-T_e^e)$$ **éq 2.1-1**

$$\varphi_i=\sigma\varepsilon\left[(T_i^e+273.15)^4-(T_i+273.15)^4\right]$$
$$\phi=4\pi R_i^2\sigma\varepsilon\left[(T_i^e+273.15)^4-(T_i+273.15)^4\right]$$ **éq 2.1-2**

$$\phi=4\pi r^2\varphi=constante\ \ \phi=4\pi\lambda\frac{T_e-T_i}{1/R_e-1/R_i}$$ **éq 2.1-3**

$\sigma=5.73.10^{-8}W/m^2K^4$ (constante de Stefan) avec $T$ en $°C$

Les températures de référence sont obtenues en résolvant numériquement par la méthode de Newton une équation du 4ème degré en $T_i$ obtenue à partir des équations [éq 2.1-1] [éq 2.1-2] et [éq 2.1-3].

## 2.2 Résultats de référence

| | en $A$ : | en $B$ : |
|---|---|---|
| Températures | $T_i=91.77\,°C$ | $T_e=71.22\,°C$ |
| Densités de flux | $\phi_i=11675.W/m^2$ | $\phi_e=6838.W/m^2$ |

## 2.3 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

## 2.4 Références bibliographiques

- Guide de validation des progiciels de calcul de structures. Société Française des Mécaniciens, AFNOR 1990 ISBN 2-12-486611-7

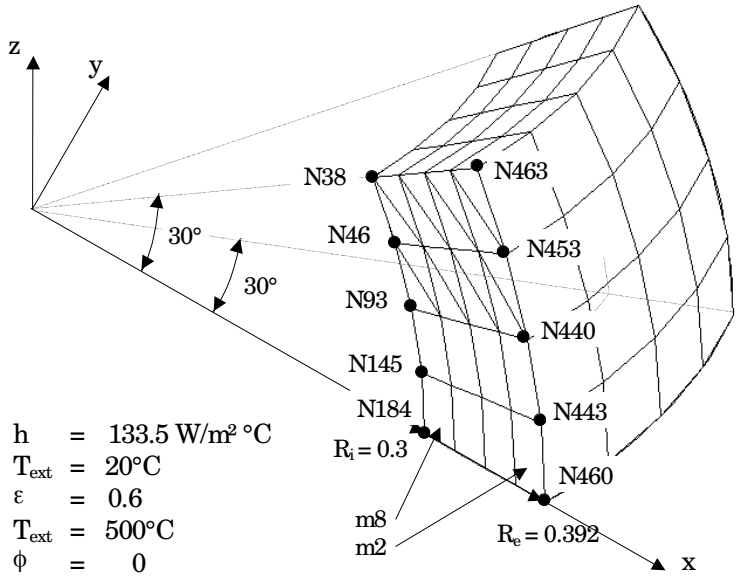


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

3D (HEXA20, PENTA15, QUAD8)




Conditions limites:

- face externe : $h = 133.5\ W/m^2\,°C$, $T_{ext} = 20°C$
- face interne : $\varepsilon = 0.6$, $T_{ext} = 500°C$
- autre faces : $\phi = 0$

## 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 465
Nombre de mailles et types : 96 (32 HEXA20, 64 PENTA15)



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 | tolérance |
|---|---|---|
| Température (°C) | | |
| N184 | 91.77 | 1% |
| N145 | 91.77 | 1% |
| N93 | 91.77 | 1% |
| N46 | 91.77 | 1% |
| N38 | 91.77 | 1% |
| N460 | 71.22 | 1% |
| N443 | 71.22 | 1% |
| N440 | 71.22 | 1% |
| N453 | 71.22 | 1% |
| N463 | 71.22 | 1% |
| Densité de flux $(W/m^2)$ | | |
| Maille $m8$ , $N184$ | 11675. | 2% |
| Maille $m2$ , $N460$ | 6838. | 2% |

## 4.2 Remarques

La condition aux limites de type rayonnement est fournie sous la forme d'une fonction de la température interpolée linéairement entre chaque point (on a discrétisé la courbe en 101 points).

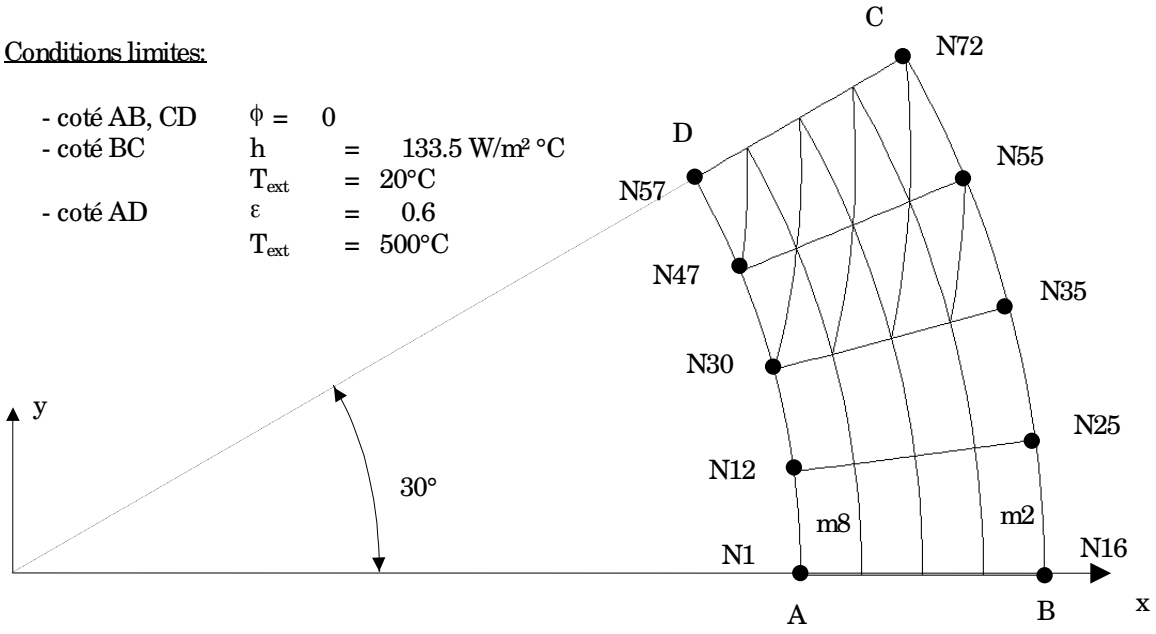


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

# 5 Modélisation B

## 5.1 Caractéristiques de la modélisation

AXIS (TRIA6, QUAD8, SEG3)




## 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 73
Nombre de mailles et types : 24 : ( 16 TRIA6, 8 QUAD8)



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 | tolérance |
|---|---|---|
| Température (°C) | | |
| | | |
| N1 | 91.77 | 1% |
| N12 | 91.77 | 1% |
| N30 | 91.77 | 1% |
| N47 | 91.77 | 1% |
| N57 | 91.77 | 1% |
| | | |
| N16 | 71.22 | 1% |
| N25 | 71.22 | 1% |
| N35 | 71.22 | 1% |
| N55 | 71.22 | 1% |
| N72 | 71.22 | 1% |
| | | |
| Densité de flux $(W/m^2)$ | | |
| | | |
| Maille $m8$ , $N1$ | 11675. | 2% |
| Maille $m2$ , $N16$ | 6838. | 2% |

## 6.2 Remarques

La condition aux limites de type rayonnement est fournie sous la forme d'une fonction de la température interpolée linéairement entre chaque point (on a discrétisé la courbe en 101 points).



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

# 7 Synthèse des résultats

Les résultats de référence fournis par VPCS sont incorrects. De nouveaux résultats de référence ont été déterminés à partir d'une approche analytique.

Les résultats obtenus sont satisfaisants. L'écart maximum est de :
- modélisation A (3D : HEXA20, PENTA15): 0.026% pour la température et de 0.076% pour les flux,
- modélisation B (AXIS : QUAD4, TRIA3): 0.022% pour la température et de 0.16% pour les flux.

La condition limite de rayonnement a été imposée via un chargement de flux non linéaire (flux fonction de la température). Dans ce test la prise en compte du rayonnement est tout à fait correcte.

Ce test à permis de tester la commande AFFE_CHAR_THER_F (associé à l'opérande FLUX_NL qui permet d'affecter un flux non_linéaire) dans les cas de modélisation AXIS et 3D.



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