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.

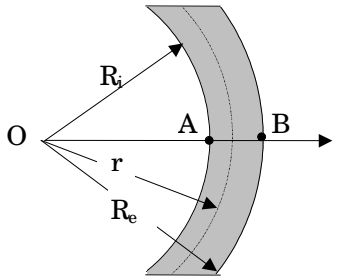
Les résultats sont comparés à une solution analytique sur un test VPCS.

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

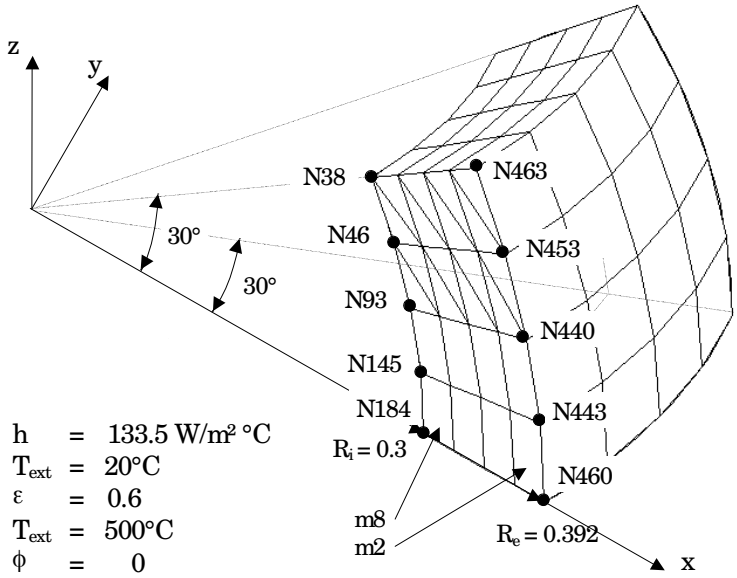
- Guide de validation des progiciels de calcul de structures. Société Française des Mécaniciens, AFNOR 1990 ISBN 2-12-486611-7

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/m² °C
	T_{ext}	=	20°C
- face interne	ε	=	0.6
	T_{ext}	=	500°C
- autre faces	ϕ	=	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

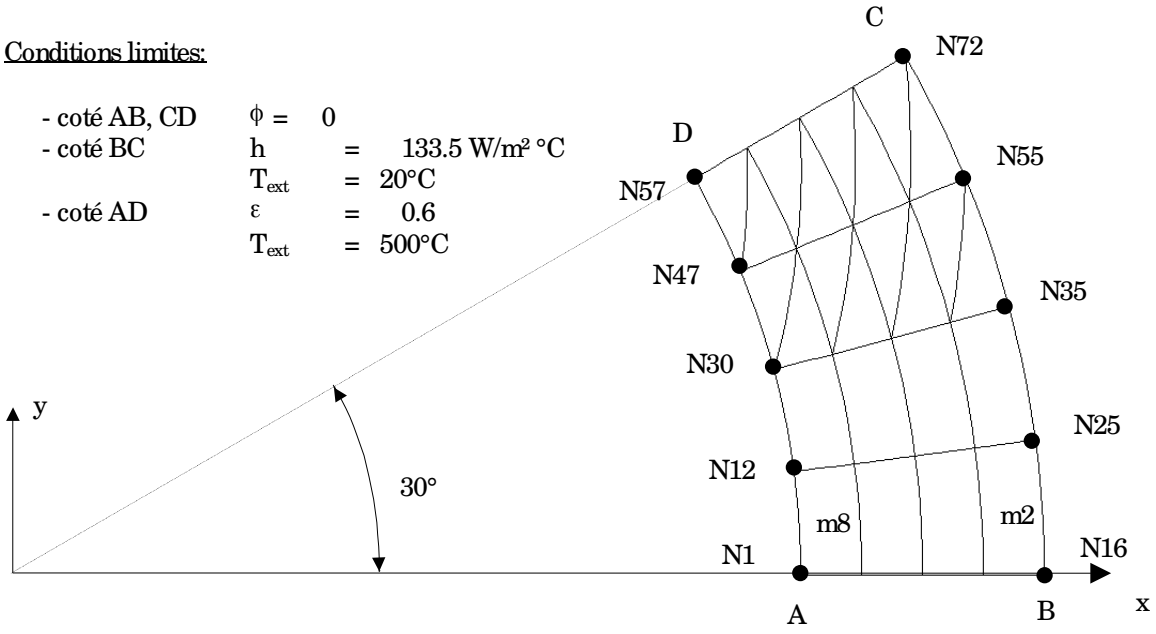
La condition aux limites de type rayonnement est fournie sous la forme d'une fonction de la température interpolée linéairement entre chaque point (on a discrétisé la courbe en 101 points).

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 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage modélisation A– Élément fini HHO linéaire.

7.2 Valeurs testées

Même valeur de référence que la modélisation A.

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

8 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.
- modélisation C (3D_HHO linéaire): 0.026% pour la température et de 0.076% 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)