

Manuel de Validation

Fascicule V4.43 : Thermique stationnaire non linéaire des structures volumiques Document V4.43.001

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.

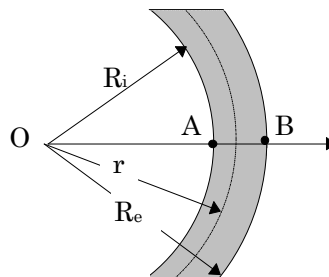
L'intérêt du test réside dans la prise en compte du rayonnement.

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

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/m³ °C Chaleur volumique

1.3 Conditions aux limites et chargements

- Surface interne : rayonnement, $\varepsilon = 0.6$ (coefficient de corps gris), $T_i^e = 500.0^\circ\text{C}$,
- Surface externe : convection, $h_e = 133.5$ W/m² °C, $T_e^e = 20.0^\circ\text{C}$.

1.4 Conditions initiales

Sans objet.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

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

$$\phi_e = h_e (T_e - T_e^e) \quad \phi = 4\pi R_e^2 h_e (T_e - T_e^e) \quad \text{éq 2.1-1}$$

$$\phi_i = \sigma \varepsilon_i \left((T_i^e + 273.15)^4 - (T_i + 273.15)^4 \right) \quad \text{éq 2.1-2}$$

$$\phi = 4\pi R_i^2 \sigma \varepsilon_i \left((T_i^e + 273.15)^4 - (T_i + 273.15)^4 \right)$$

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

$\sigma = 5.73 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$ (constante de Stefan) avec T en °C

Les températures de référence sont obtenues en résolvant numériquement par la méthode de Newton une équation du 4^{ème} 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	$T_i = 91.77^\circ\text{C}$	$T_e = 71.22^\circ\text{C}$
Densités de flux	$\phi_i = 11675. \text{ W/m}^2$	$\phi_e = 6838. \text{ W/m}^2$

2.3 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

2.4 Références bibliographiques

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

3D (HEXA20, PENTA15, QUAD8)

Conditions limites:

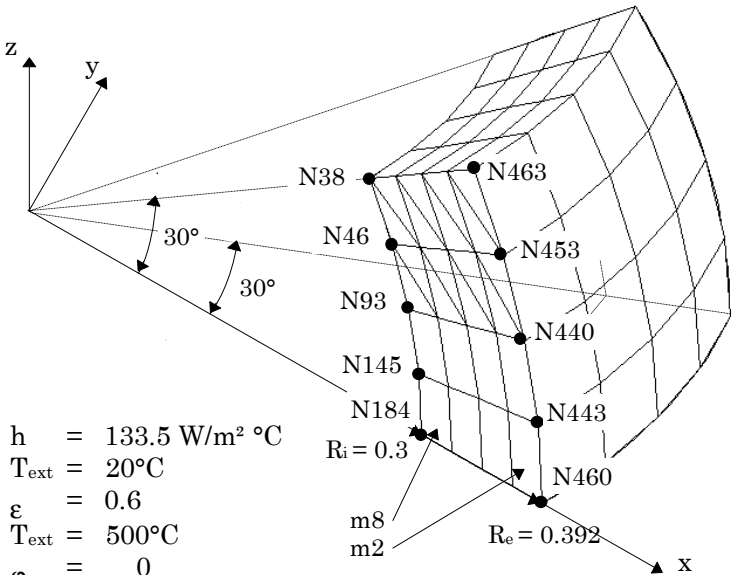
- face externe
 - face interne
 - autres faces
- $h = 133.5 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{ext}} = 20^{\circ}\text{C}$

$\varepsilon = 0.6$

$T_{\text{ext}} = 500^{\circ}\text{C}$

$\varphi = 0$



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 465

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

3.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE	THERMIQUE	3D	TOUT
DEFI_MATERIAU	THER_NL		
AFFE_CHAR_THER_F	ECHANGE	FLUX_NL	
THER_NON_LINE	TEMP_INIT	STATIONNAIRE	'OUI'
	EXCIT	CHARGE	
RECU_CHAMP	INST	0.	

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence	tolérance
Température (°C)				
N184	91.77	91.75	-0.026	1%
N145	91.77	91.75	-0.026	1%
N93	91.77	91.75	-0.018	1%
N46	91.77	91.76	-0.016	1%
N38	91.77	91.76	-0.016	1%
N460	71.22	71.21	-0.011	1%
N443	71.22	71.21	-0.011	1%
N440	71.22	71.21	-0.017	1%
N453	71.22	71.21	-0.021	1%
N463	71.22	71.20	-0.022	1%
Densité de flux (W/m ²)				
Maille m8 , N184	11675.	11677.	0.016	2%
Maille m2 , N460	6838.	6843.	0.076	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).

4.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 6.33 secondes

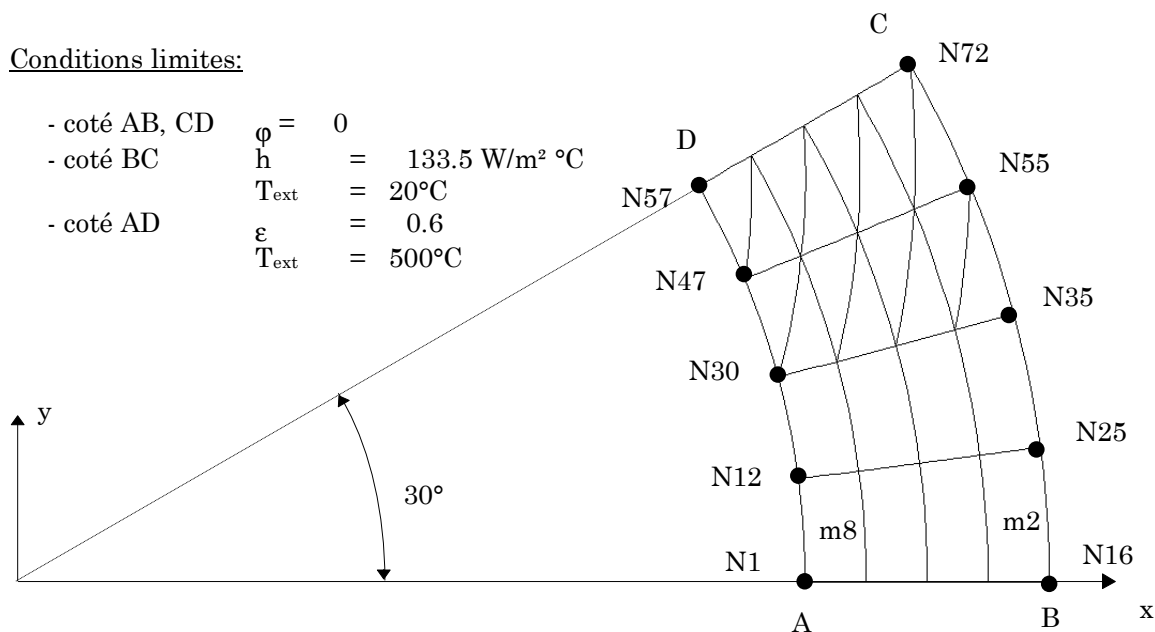
5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

AXIS (TRIA6, QUAD8, SEG3)

Conditions limites:

- coté AB, CD $\varphi = 0$
- coté BC $h = 133.5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- coté AD $T_{\text{ext}} = 20^\circ\text{C}$
- $\varepsilon = 0.6$
- $T_{\text{ext}} = 500^\circ\text{C}$



5.2 Caractéristiques du maillage

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

5.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE	THERMIQUE	AXIS	TOUT
DEFI_MATERIAU	THER_NL		
AFFE_CHAR_THER_F	ECHANGE	FLUX_NL	
THER_NON_LINE	TEMP_INIT	STATIONNAIRE	'OUI'
	EXCIT	CHARGE	
RECU_CHAMP	INST	0.	

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence	tolérance
Température (°C)				
N1	91.77	91.75	-0.019	1%
N12	91.77	91.75	-0.018	1%
N30	91.77	91.75	-0.021	1%
N47	91.77	91.75	-0.022	1%
N57	91.77	91.75	-0.020	1%
N16	71.22	71.21	-0.017	1%
N25	71.22	71.21	-0.017	1%
N35	71.22	71.21	-0.016	1%
N55	71.22	71.21	-0.014	1%
N72	71.22	71.21	-0.012	1%
Densité de flux (W/m ²)				
Maille m8 , N1	11675.	11656.	-0.163	2%
Maille m2 , N16	6838.	6834.	-0.062	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).

6.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 2.63 secondes

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 a 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`.