

## Manuel de Validation

### Fascicule V4.25 : Thermique transitoire des structures volumiques Document V4.25.001

# TTLV01 - Sphère : échange de chaleur par convection

---

## Résumé :

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

Il s'agit d'un problème tridimensionnel représenté par quatre modélisations, l'une volumique, les trois autres axisymétriques.

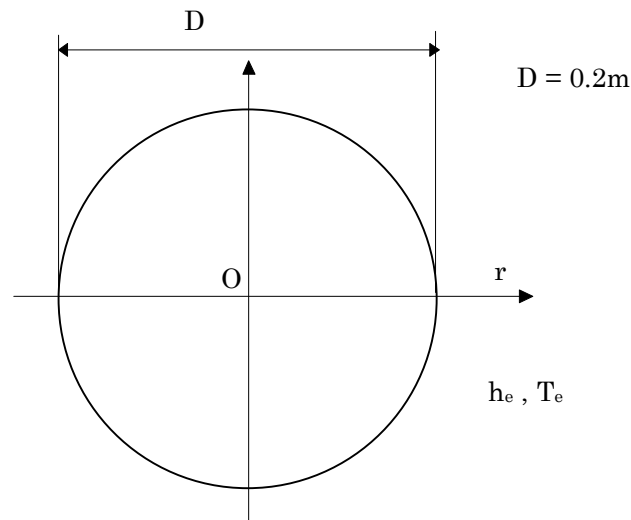
Les fonctionnalités testées sont les suivantes :

- éléments thermiques volumiques,
- éléments thermiques axisymétriques,
- algorithme de thermique transitoire,
- conditions limites : convection.

Les résultats sont comparés avec ceux fournis par VPCS.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



### 1.2 Propriétés du matériau

$\lambda$	=	48.822 W/m °C	conductivité thermique
$c_p$	=	669.0 J/kg °C	chaleur spécifique
$\rho$	=	7200 kg/m <sup>3</sup>	masse volumique

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

Convection sur surface externe avec air :

- $h_e = 232.5 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$ ,
- $T_e = 1000 \text{ °C}$ .

### 1.4 Conditions initiales

Température initiale :  $T(t = 0) = 20 \text{ °C}$

---

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence est celle donnée dans la fiche TTLV01/89 du guide VPCS.

- calcul des coefficients,
- lecture sur abaque de Gurney-Lurie.

### 2.2 Résultats de référence

Température en surface et au centre de la sphère pour t compris entre 400 s et 2400 s

### 2.3 Incertitude sur la solution

< 2%

En dessous de 600 secondes, l'incertitude augmente (lecture difficile des abaques).

### 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

### 3Modélisation A

#### 3.1Caractéristiques de la modélisation

3D (PENTA6 et TETRA4)

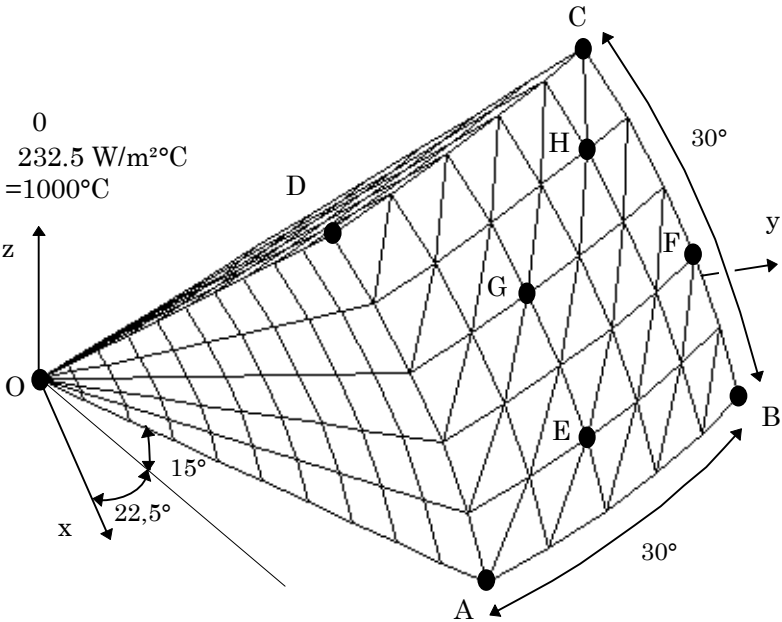
Conditions limites:

- faces OAB, OAD,  
ODC, OBC

$\varphi = 0$
- face ABCD

$h = 232.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
 $T_{\text{ext}} = 1000\text{°C}$

Point	Noeud
O	N291
A	N292
B	N345
C	N234
D	N179
E	N254
F	N133
G	N5
H	N198



#### 3.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 361  
Nombre de mailles et types : 450 PENTA6, 50 TETRA4 (et 50 TRIA3)

#### 3.3Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_MODELE	AFFE	THERMIQUE 3D
AFFE_CHAR_THER_F	ECHANGE	
THER_LINEAIRE	TEMP_INIT	VALE
	INCREMENT	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST	

#### 3.4Remarques

On prend, pour la chaleur volumique,  $CP = \rho c_p = 4816800.0 \text{ J/m}^3\text{°C}$ .  
La condition limite  $\varphi = 0$ . est implicite sur les bords libres.  
Discretisation du temps : (36 intervalles)

de	0 à	100 secondes :	8 intervalles de	12.5 s.
de	100 à	300 secondes :	8 intervalles de	25.0 s.
de	300 à	700 secondes :	8 intervalles de	50.0 s.
de	700 à	1400 secondes :	7 intervalles de	100.0 s.
de	1400 à	2400 secondes :	5 intervalles de	200.0 s.

## 4 Résultats de la modélisation A

### 4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	Ecart relatif (%)		Ecart absolu (°C)	
			différence	tolérance	différence	tolérance
Températures :						
Au centre (O : N291)	T (°C)					
t = 400 s	334	340.56	1.965%	5.%	6.56	20.
t = 600 s	500	493.15	-1.371%	5.%	-6.85	20.
t = 800 s	618	610.27	-1.252%	5.%	-7.73	20.
t = 1000 s	706	700.18	-0.824%	5.%	-5.82	20.
t = 1200 s	774	769.35	-0.600%	5.%	-4.65	20.
t = 1400 s	828	822.57	-0.656%	5.%	-5.43	20.
t = 1600 s	872	863.33	-0.994%	5.%	-8.67	20.
t = 1800 s	902	894.73	-0.806%	5.%	-7.27	20.
t = 2000 s	923	918.91	-0.443%	5.%	-4.09	20.
t = 2200 s	942	937.54	-0.474%	5.%	-4.46	20.
t = 2400 s	956	951.89	-0.430%	5.%	-4.11	20.
En surface (A : N292)	T (°C)					
t = 400 s	461	474.82	2.998%	5.%	13.8	20.
t = 600 s	608	596.37	-1.913%	5.%	-11.6	20.
t = 800 s	696	689.64	-0.914%	5.%	-6.36	20.
t = 1000 s	774	761.24	-1.648%	5.%	-12.8	20.
t = 1200 s	828	816.33	-1.410%	5.%	-11.7	20.
t = 1400 s	868	858.70	-1.071%	5.%	-9.30	20.
t = 1600 s	902	891.16	-1.202%	5.%	-10.8	20.
t = 1800 s	923	916.17	-0.741%	5.%	-6.83	20.
t = 2000 s	942	935.42	-0.698%	5.%	-6.58	20.
t = 2200 s	956	950.26	-0.601%	5.%	-5.74	20.
t = 2400 s	962	961.69	-0.033%	5.%	-0.314	20.

### 4.2 Remarques

Les écarts relatifs sont supérieurs à 2% pour t = 400. s , inférieurs pour t ≥ 600. S

En surface, les résultats calculés par le *Code\_Aster* sont symétriques par rapport à la diagonale AC. L'écart maximal observé, en relatif comme en absolu, est de 0.29% soit 1,4°C, entre le point A (N291) et le point D (N179) à l'instant t = 400. s. Ces écarts diminuent en valeur absolue lorsque le temps augmente.

### 4.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 5.76 secondes

## 5 Modélisation B

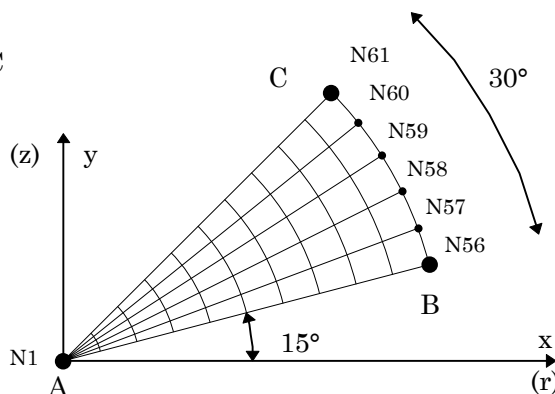
### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

#### AXIS (TRIA3, QUAD4)

##### Conditions limites:

- coté AB, AC  $\varphi = 0$
- coté BC  $h = 232.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
 $T_{\text{ext}} = 1000\text{°C}$

Point	Noeud
A	N1
B	N56
C	N61



### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 61  
Nombre de mailles et types : 45 QUAD4, 5 TRIA3 (et 5 SEG2)

### 5.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

AFPE_MODELE	AFPE	THERMIQUE AXIS
AFPE_CHAR_THER	ECHANGE	
THER_LINEAIRE	TEMP_INIT	VALE
	INCREMENT	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST	

### 5.4 Remarques

On prend, pour la chaleur volumique,  $CP = \rho c_p = 4816800.0 \text{ J/m}^3\text{°C}$ .

La condition limite  $\varphi = 0$ . est implicite sur les bords libres.

Discretisation du temps : (36 intervalles)

de	0 à	100 secondes :	8 intervalles de	12.5 s.
de	100 à	300 secondes :	8 intervalles de	25.0 s.
de	300 à	700 secondes :	8 intervalles de	50.0 s.
de	700 à	1400 secondes :	7 intervalles de	100.0 s.
de	1400 à	2400 secondes :	5 intervalles de	200.0 s.

## 6 Résultats de la modélisation B

### 6.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	Ecart relatif (%)		Ecart absolu (°C)	
			différence	tolérance	différence	tolérance
Températures :						
Au centre (A : N1)	T (°C)					
t = 400 s	334	339.95	1.780%	5. %	5.95	20.
t = 600 s	500	492.47	-1.506%	5. %	-7.53	20.
t = 800 s	618	609.59	-1.361%	5. %	-8.41	20.
t = 1000 s	706	699.55	-0.914%	5. %	-6.45	20.
t = 1200 s	774	768.78	-0.675%	5. %	-5.22	20.
t = 1400 s	828	822.05	-0.718%	5. %	-5.95	20.
t = 1600 s	872	862.88	-1.046%	5. %	-9.12	20.
t = 1800 s	902	894.34	-0.849%	5. %	-7.66	20.
t = 2000 s	923	918.58	-0.479%	5. %	-4.42	20.
t = 2200 s	942	937.26	-0.503%	5. %	-4.74	20.
t = 2400 s	956	951.65	-0.455%	5. %	-4.35	20.
En surface (N : N56)	T (°C)					
t = 400 s	461	475.14	3.068%	5. %	14.1	20.
t = 600 s	608	596.46	-1.899%	5. %	-11.5	20.
t = 800 s	696	689.58	-0.922%	5. %	-6.42	20.
t = 1000 s	774	761.11	-1.666%	5. %	-12.9	20.
t = 1200 s	828	816.15	-1.431%	5. %	-11.8	20.
t = 1400 s	868	858.51	-1.093%	5. %	-9.49	20.
t = 1600 s	902	890.97	-1.223%	5. %	-11.0	20.
t = 1800 s	923	915.99	-0.760%	5. %	-7.01	20.
t = 2000 s	942	935.26	-0.715%	5. %	-6.74	20.
t = 2200 s	956	950.11	-0.616%	5. %	-5.89	20.
t = 2400 s	962	961.56	-0.046%	5. %	-0.441	20.

### 6.2 Remarques

Les écarts relatifs sont supérieurs à 2% pour t = 400. s , inférieurs pour t ≥ 600. S

L'écart maximal observé entre deux nœuds sur la surface, en relatif comme en absolu, est de 0.012% soit 0,055°C, entre le point B (N56) et le point C (N61) à l'instant t = 400. s. Ces écarts diminuent en valeur absolue lorsque le temps augmente.

### 6.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 4.03 secondes

## 7Modélisation C

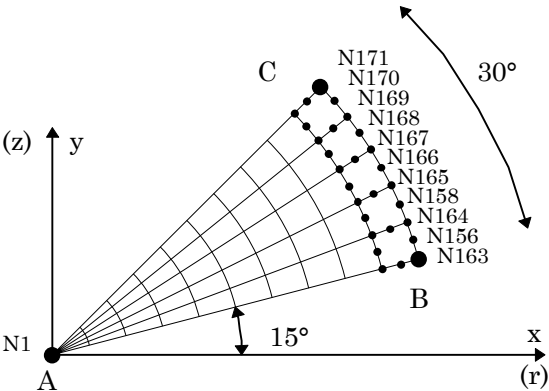
### 7.1Caractéristiques de la modélisation

AXIS (TRIA6, QUAD8)

Conditions limites:

- coté AB, AC $\varphi = 0$
- coté BC $h = 232.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$   
 $T_{\text{ext}} = 1000\text{°C}$

Point	Noeud
A	N1
B	N163
C	N171



### 7.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 171  
Nombre de mailles et types : 45 QUAD8, 5 TRIA6 (et 5 SEG3)

### 7.3Fonctionnalités testées

Commandes

AFPE_MODELE	AFPE	THERMIQUE AXIS
AFPE_CHAR_THER	ECHANGE	
THER_LINEAIRE	TEMP_INIT	VALE
	INCREMENT	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST	

### 7.4Remarques

On prend, pour la chaleur volumique,  $CP = \rho c_p = 4816800.0 \text{ J/m}^3\text{°C}$ .  
La condition limite  $\varphi = 0$ . est implicite sur les bords libres.  
Discretisation du temps : (36 intervalles)

de	0 à	100 secondes :	8 intervalles de	12.5 s.
de	100 à	300 secondes :	8 intervalles de	25.0 s.
de	300 à	700 secondes :	8 intervalles de	50.0 s.
de	700 à	1400 secondes :	7 intervalles de	100.0 s.
de	1400 à	2400 secondes :	5 intervalles de	200.0 s.



## 8 Résultats de la modélisation C

### 8.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	Ecart relatif (%)		Ecart absolu (°C)	
			différence	tolérance	différence	tolérance
Températures :						
Au centre (A : N1)	T (°C)					
t = 400 s	334	341.10	2.126%	5.%	7.10	20.
t = 600 s	500	493.15	-1.370%	5.%	-6.85	20.
t = 800 s	618	609.65	-1.303%	5.%	-8.05	20.
t = 1000 s	706	699.70	-0.893%	5.%	-6.30	20.
t = 1200 s	774	768.80	-0.672%	5.%	-5.20	20.
t = 1400 s	828	822.00	-0.725%	5.%	-6.00	20.
t = 1600 s	872	862.78	-1.058%	5.%	-9.22	20.
t = 1800 s	902	894.22	-0.863%	5.%	-7.78	20.
t = 2000 s	923	918.45	-0.493%	5.%	-4.55	20.
t = 2200 s	942	937.14	-0.516%	5.%	-4.86	20.
t = 2400 s	956	951.54	-0.467%	5.%	-4.46	20.
En surface (N : N163)	T (°C)					
t = 400 s	461	474.78	2.989%	5.%	13.8	20.
t = 600 s	608	596.02	-1.971%	5.%	-12.0	20.
t = 800 s	696	689.12	-0.989%	5.%	-6.88	20.
t = 1000 s	774	760.65	-1.725%	5.%	-13.3	20.
t = 1200 s	828	815.72	-1.483%	5.%	-12.3	20.
t = 1400 s	868	858.12	-1.138%	5.%	-9.88	20.
t = 1600 s	902	890.63	-1.261%	5.%	-11.4	20.
t = 1800 s	923	915.69	-0.792%	5.%	-7.31	20.
t = 2000 s	942	935.00	-0.743%	5.%	-7.00	20.
t = 2200 s	956	949.90	-0.639%	5.%	-6.10	20.
t = 2400 s	962	961.37	-0.065%	5.%	-0.625	20.

### 8.2 Remarques

Les écarts relatifs sont supérieurs à 2% pour t = 400. s , inférieurs pour t ≥ 600. S

Les écarts observés entre les résultats calculés par le Code\_Aster sur deux nœuds de la surface extérieure, sont inférieurs à 0,011°C (soit 0.002%).

### 8.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 4.50 secondes

9Modélisation D

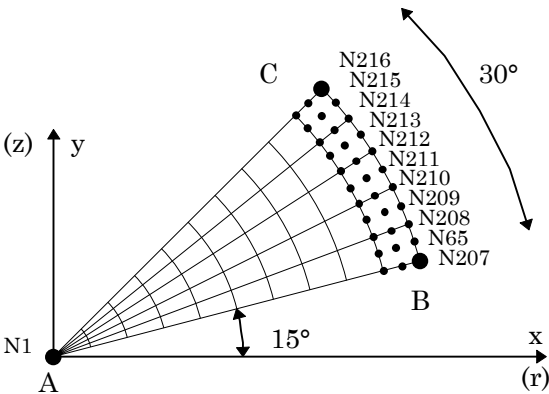
9.1Caractéristiques de la modélisation

AXIS (TRIA6, QUAD9)

Conditions limites:

- coté AB, AC
- $\varphi = 0$
- coté BC
- $h = 232.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- $T_{\text{ext}} = 1000\text{°C}$

Point	Noeud
A	N1
B	N207
C	N216



9.2Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 216  
Nombre de mailles et types : 45 QUAD9, 5 TRIA6 (et 5 SEG3)

9.3Fonctionnalités testées

Commandes

AFPE_MODELE	AFPE	THERMIQUE
		AXIS
AFPE_CHAR_THER	ECHANGE	
THER_LINEAIRE	TEMP_INIT	VALE
	INCREMENT	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST	

9.4Remarques

On prend, pour la chaleur volumique,  $CP = pc_p = 4816800.0 \text{ J/m}^3\text{°C}$ .  
La condition limite  $\varphi = 0$ . est implicite sur les bords libres.  
Discrétisation du temps : (36 intervalles)

de	0 à	100 secondes :	8 intervalles de	12.5 s.
de	100 à	300 secondes :	8 intervalles de	25.0 s.
de	300 à	700 secondes :	8 intervalles de	50.0 s.
de	700 à	1400 secondes :	7 intervalles de	100.0 s.
de	1400 à	2400 secondes :	5 intervalles de	200.0 s.

## 10 Résultats de la modélisation D

### 10.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	Ecart relatif (%)		Ecart absolu (°C)	
			différence	tolérance	différence	tolérance
Températures :						
Au centre (A : N1)	T (°C)					
t = 400 s	334	341.10	2.125%	5.%	7.10	20.
t = 600 s	500	493.14	-1.371%	5.%	-6.86	20.
t = 800 s	618	609.95	-1.303%	5.%	-8.05	20.
t = 1000 s	706	699.70	-0.893%	5.%	-6.30	20.
t = 1200 s	774	768.79	-0.673%	5.%	-5.21	20.
t = 1400 s	828	821.99	-0.726%	5.%	-6.01	20.
t = 1600 s	872	862.78	-1.058%	5.%	-9.22	20.
t = 1800 s	902	894.22	-0.863%	5.%	-7.78	20.
t = 2000 s	923	918.45	-0.493%	5.%	-4.55	20.
t = 2200 s	942	937.13	-0.516%	5.%	-4.87	20.
t = 2400 s	956	951.54	-0.467%	5.%	-4.46	20.
En surface (N : N207)	T (°C)					
t = 400 s	461	474.78	2.989%	5.%	13.8	20.
t = 600 s	608	596.01	-1.971%	5.%	-12.0	20.
t = 800 s	696	689.12	-0.989%	5.%	-6.88	20.
t = 1000 s	774	760.65	-1.725%	5.%	-13.4	20.
t = 1200 s	828	815.72	-1.483%	5.%	-12.3	20.
t = 1400 s	868	858.12	-1.138%	5.%	-9.88	20.
t = 1600 s	902	890.63	-1.261%	5.%	-11.4	20.
t = 1800 s	923	915.69	-0.792%	5.%	-7.31	20.
t = 2000 s	942	935.00	-0.743%	5.%	-7.00	20.
t = 2200 s	956	949.89	-0.639%	5.%	-6.11	20.
t = 2400 s	962	961.37	-0.065%	5.%	-0.626	20.

### 10.2 Remarques

Les écarts relatifs sont supérieur à 2% pour t = 400. s , inférieurs pour t ≥ 600. S

Les résultats calculés par le Code\_Aster sur les nœuds de la surface extérieure sont quasiment identiques (maximum :  $5 \cdot 10^{-5}$  °C soit  $10^{-7}$  en relatif).

### 10.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.03

Machine : SGI - ORIGIN 2000 - R12000

Encombrement mémoire : 8 mégamots

Temps CPU User : 4.34 secondes

## 11 Synthèse des résultats

---

Les résultats obtenus sont satisfaisants. L'écart maximum obtenu (3%) se situe sur la surface extérieure de la sphère pour l'instant  $t$  le plus faible. Cet écart diminue lorsque l'instant  $t$  augmente.

Quel que soit la modélisation, les résultats sont toujours plus précis au centre qu'à la surface extérieure de la sphère.

A découpage identique les résultats entre les éléments linéaires et quadratiques sont sensiblement les mêmes.