

**Manuel de Validation****Fascicule V4.02 : Thermique stationnaire des structures linéiques****Document : V4.02.001**

# TPLL01 - Mur plan infini en thermique linéaire

---

**Résumé :**

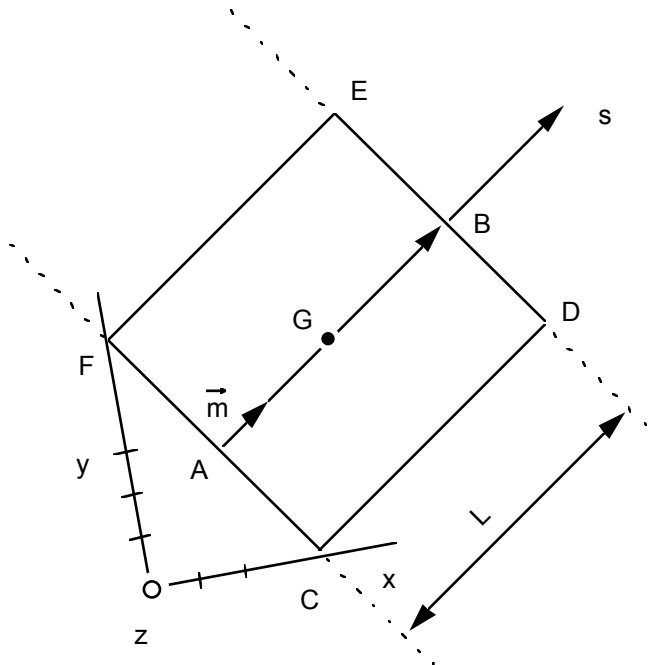
Ce cas test porte sur un calcul de thermique stationnaire linéaire. Il comprend 10 modélisations qui testent les éléments 2D et 3D.

Ce cas test présente plusieurs intérêts :

- **pour les modélisations de A à I**, il teste sur presque tous les éléments 3D et 2D (sauf 2D\_AXIS, PYRAM et lumpés), le calcul des options de base de thermique linéaire : "rigidité", "masse", échange, flux imposé, température imposée,
- **dans la modélisation J**, on calcule une cartographie d'erreur spatiale via l'option ERTM\_ELEM\_TEMP de CALC\_ELEM sur laquelle va s'appuyer, dans une boucle PYTHON, l'outil de raffinement/déraffinement HOMARD encapsulé dans MACR\_ADAP\_MAIL.
- L'orientation du mur est quelconque par rapport aux axes de coordonnées,
- C'est un des rares cas-tests à tester des éléments TETRA10 et QUAD9 en thermique linéaire, à combiner les commandes AFFE\_CHAR\_THER / LIAISON\_DDL, et à tester INTE\_MAIL\_3D.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



Le problème correspond à un mur infini :  
CF et DE quelconque

$$L = 0.05 \text{ m}$$

$$C = \{0.03, 0.0, 0.0\}$$

$$F = \{0.0, 0.04, 0.0\}$$

$$A = \{0.015, 0.02, 0.0\}$$

### 1.2 Propriétés de matériaux

$\lambda = 0.75 \text{ W.m } ^\circ\text{C}$  Conduction thermique

$\rho C_p = 2. \text{ J.m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$  Chaleur volumique

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

- [FE] et [CD] : flux nul
- [FA] : convection libre ( $h = 30 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $T^e = 140^\circ\text{C}$ )
- [AC] : température imposée  $T^i = 100^\circ\text{C}$
- [ED] : densité de flux imposé  $\phi^i = -1200 \text{ W/m}^2$ , (flux sortant)

### 1.4 Conditions initiales

Pour faire ce calcul stationnaire, on fait un calcul transitoire (sauf pour les modélisations A et G) pour lequel les conditions aux limites sont constantes dans le temps. Ceci permet de tester les calculs élémentaires de masse intervenant dans le premier membre ainsi que le deuxième membre.

## 2 Solution de référence

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

$$T(s) = T_A + (T_B - T_A) \cdot \frac{s}{L} \quad S = \overline{AM} \quad M \text{ point courant}$$

$$\vec{\varphi} = -\lambda \cdot \frac{T_B - T_A}{L} \cdot \vec{m}$$

### 2.2 Résultats de référence

Températures et flux aux points A, B, G.

### 2.3 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

### 2.4 Références

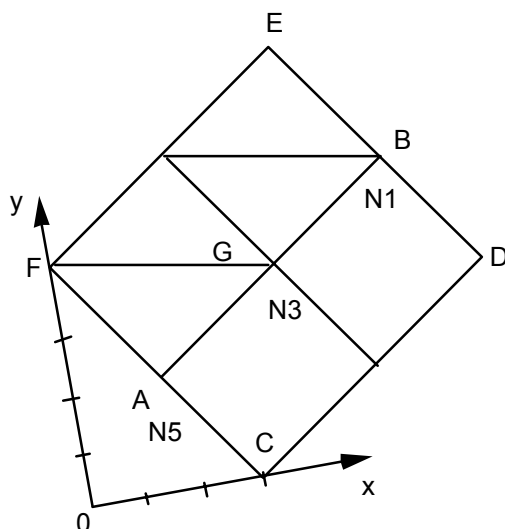
Cas test VPCS TPLL01.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Plan (QUAD4, TRIA3)

On maille une partie du mur infini, tel que le domaine soit un carré  $\overline{DE} = \overline{CF} = L$  avec 4 mailles TRIA3 et 2 mailles QUAD4.



	x	y	
C	0.03	0	
D	0.07	0.03	
E	0.04	0.07	
F	0	0.04	
A	0.015	0.02	N5
B	0.055	0.05	N1
G	0.035	0.035	N3

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 9

Nombre de mailles et types : 2 QUAD4, 4 TRIA3

### 3.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot clé facteur	Mot clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO LIAISON_DDL
AFFE_MODELE	PLAN	THERMIQUE	
MACRO_MATR_ASSE	SOLVEUR	'MULT_FRONT'	
	MATR_ASSE	RIGI_THER	
CALC_VECT_ELEM	CHAR_THER		
ASSE_VECT			
FACT_LDLT			
RESO_LDLT			
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

### 3.4 Remarques

Pour tester le mot-clé facteur LIAISON\_DDL, on a introduit la relation linéaire (vérifiée par la solution) :  $T(G) - T(B) = 40$ .

## 4 Résultats de la modélisation A

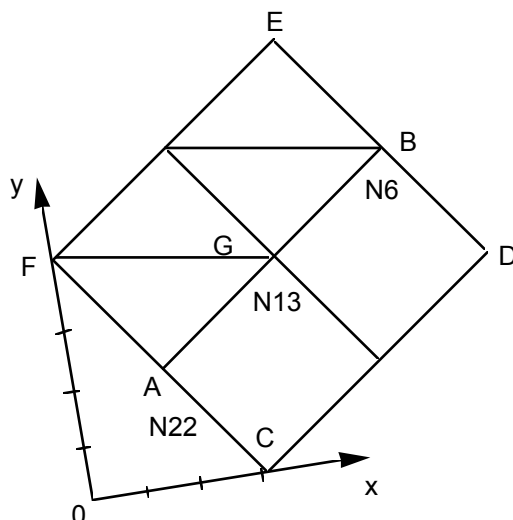
### 4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
T(A)°C	100.	100.00	0.00
T(B)°C	20.	20.00	0.00
T(G)°C	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{i} \quad (\forall m) W / m^2$	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{j} \quad (\forall m) W / m^2$	720.	720.00	0.00

## 5 Modélisation B

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Plan (QUAD8, TRIA6)



	x	y	
C	0.03	0	
D	0.07	0.03	
E	0.04	0.07	
F	0	0.04	
A	0.015	0.02	N22
B	0.055	0.05	N6
G	0.035	0.035	N13

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 23

Nombre de mailles et types : 4 TRIA6, 2 QUAD8

### 5.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP LIAISON_DDL	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	PLAN	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE			
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

### 5.4 Remarque

Pour tester le mot clé facteur LIAISON\_DDL, on a introduit la relation linéaire (vérifiée par la solution)  $T(G) - T(B) = 40$ .

## 6 Résultats de la modélisation B

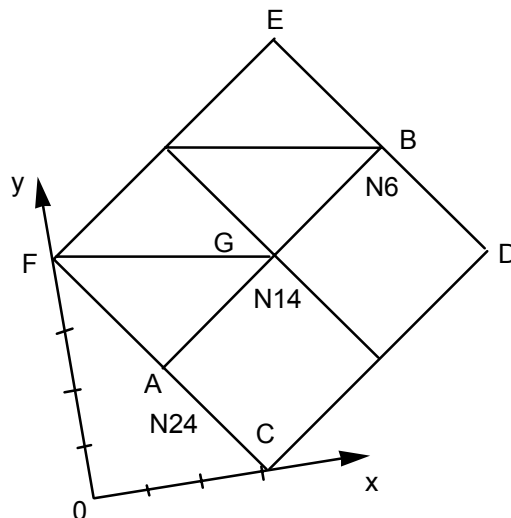
### 6.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
$T(A)^{\circ}C$	100.	100.00	0.00
$T(B)^{\circ}C$	20.	20.00	0.00
$T(G)^{\circ}C$	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).i \quad (\forall m) W / m^2$	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).j \quad (\forall m) W / m^2$	720.	720.00	0.00

## 7 Modélisation C

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

Plan (QUAD8, TRIA6)



	x	y	
C	0.03	0	
D	0.07	0.03	
E	0.04	0.07	
F	0	0.04	
A	0.015	0.02	N24
B	0.055	0.05	N6
G	0.035	0.035	N14

### 7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 25

Nombre de mailles et types : 4 TRIA6, 2 QUAD9

### 7.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	PLAN	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE			
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

## 8 Résultats de la modélisation C

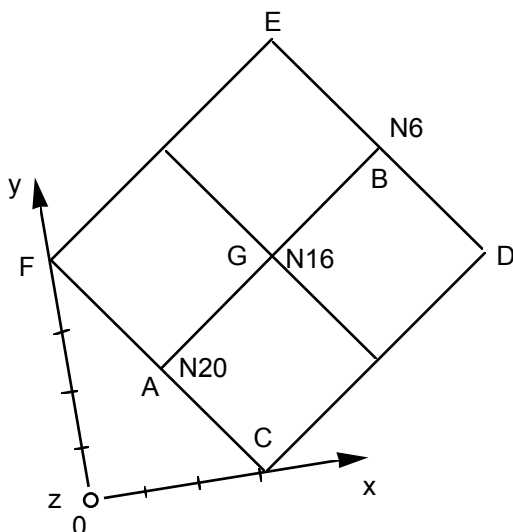
### 8.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
T(A) °C	100.	100.00	0.00
T(B) °C	20.	20.00	0.00
T(G) °C	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{i}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{j}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	720.	720.00	0.00

## 9 Modélisation D

### 9.1 Caractéristiques de la modélisation

Volumique (HEXA8)



	x	y	z	
C	0.03	0	0	
D	0.07	0.03	0	
E	0.04	0.07	0	
F	0	0.04	0	
A	0.015	0.02	0	N20
B	0.055	0.05	0	N6
G	0.035	0.035	0	N16

### 9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 21

Nombre de mailles et types : 4 HEXA8 + 20 QUAD4

### 9.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	3D	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE			
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	
INTE_MAIL_3D			
POST_RELEVÉ			

## 10 Résultats de la modélisation D

### 10.1 Valeurs testées

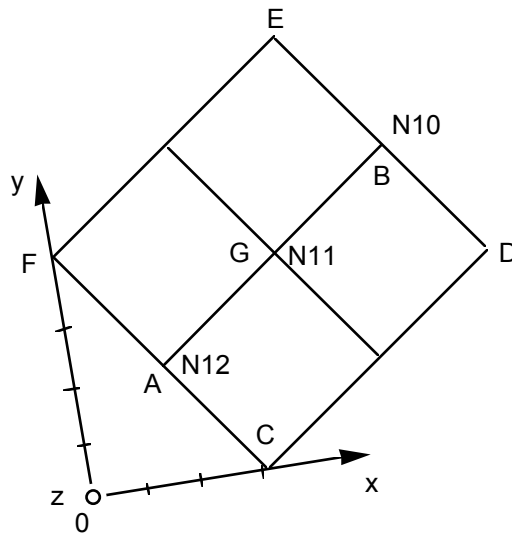
Identification	Référence	Aster	% différence
T(A) °C	100.	100.00	0.00
T(B) °C	20.	20.00	0.00
T(G) °C	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{i}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{j}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	720.	720.00	0.00



## 11 Modélisation E

### 11.1 Caractéristiques de la modélisation

Volumique (PENTA6)



	x	y	z	
C	0.03	0	0	
D	0.07	0.03	0	
E	0.04	0.07	0	
F	0	0.04	0	
A	0.015	0.02	0	N12
B	0.055	0.05	0	N10
G	0.035	0.035	0	N11

### 11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 21

Nombre de mailles et types : 8 PENTA6 + 8 TRIA3 + 16 QUAD4

### 11.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	3D	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE			
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

## 12 Résultats de la modélisation E

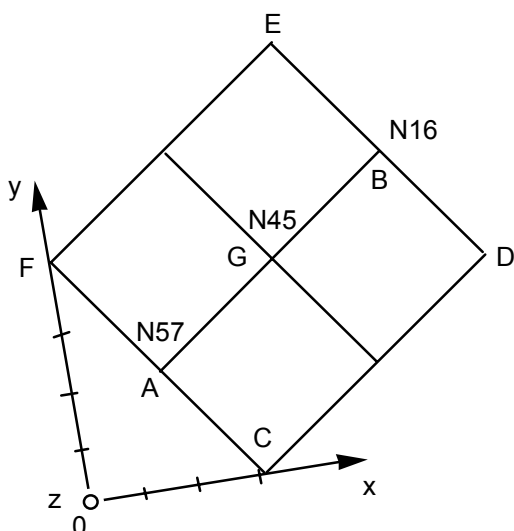
### 12.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
T(A) °C	100.	100.00	0.00
T(B) °C	20.	20.00	0.00
T(G) °C	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{i} \quad (\forall m) W / m^2$	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{j} \quad (\forall m) W / m^2$	720.	720.00	0.00

## 13 Modélisation F

### 13.1 Caractéristiques de la modélisation

Volumique (HEXA20)



	x	y	z	
C	0.03	0	0	
D	0.07	0.03	0	
E	0.04	0.07	0	
F	0	0.04	0	
A	0.015	0.02	0	N57
B	0.055	0.05	0	N16
G	0.035	0.035	0	N45

### 13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 59

Nombre de mailles et types : 4 HEXA20 + 20 QUAD8

### 13.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	PLAN	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE			
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

## 14 Résultats de la modélisation F

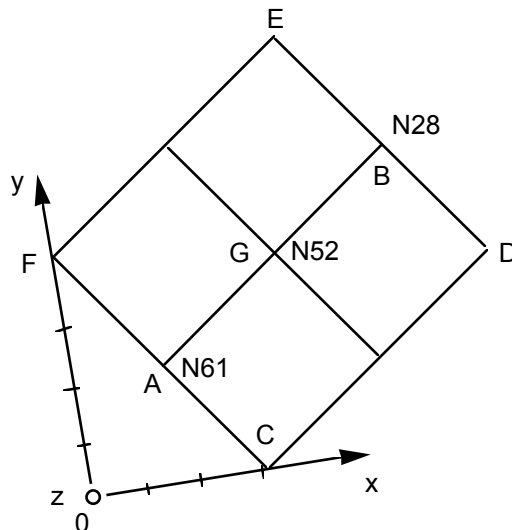
### 14.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
T(A) °C	100.	100.00	0.00
T(B) °C	20.	20.00	0.00
T(G) °C	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{i}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{j}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	720.	720.00	0.00

## 15 Modélisation G

### 15.1 Caractéristiques de la modélisation

Volumique (PENTA15)



	x	y	z	
C	0.03	0	0	
D	0.07	0.03	0	
E	0.04	0.07	0	
F	0	0.04	0	
A	0.015	0.02	0	N61
B	0.055	0.05	0	N28
G	0.035	0.035	0	N52

### 15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 65

Nombre de mailles et types : 8 PENTA15 + 8 TRIA6 + 16 QUAD8

### 15.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	3D	THERMIQUE	
CALC_MATR_ELEM		OPTION	'RIGI_THER'
NUME_DDL			
ASSE_MATRICE			
CALC_VECT_ELEM		OPTION	'CHAR_THER'
ASSE_VECTEUR			
FACT_LDLT			
RESO_LDLT			
PRE_GIBI			
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

## 16 Résultats de la modélisation G

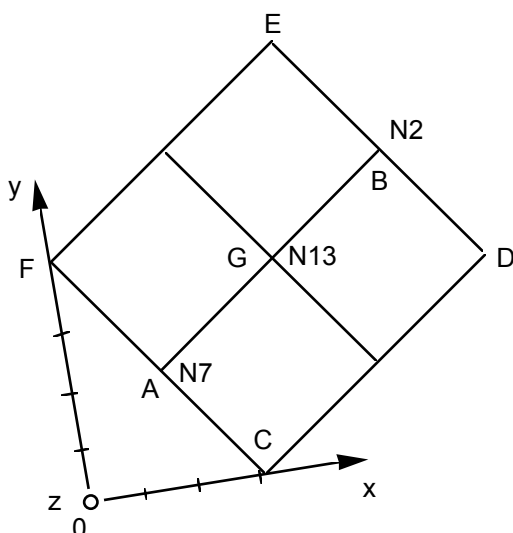
### 16.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
T(A) °C	100.	100.00	0.00
T(B) °C	20.	20.00	0.00
T(G) °C	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{i}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{j}$ ( $\forall m$ ) W / m <sup>2</sup>	720.	720.00	0.00

## 17 Modélisation H

### 17.1 Caractéristiques de la modélisation

Volumique (TETRA4)



	x	y	z	
C	0.03	0	0	
D	0.07	0.03	0	
E	0.04	0.07	0	
F	0	0.04	0	
A	0.015	0.02	0	N7
B	0.055	0.05	0	N2
G	0.035	0.035	0	N13

### 17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 18

Nombre de mailles et types : 20 TETRA4 + 6 TRIA3 + 16 QUAD8

### 17.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	3D	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE		PARM_THETA	1
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

## 18 Résultats de la modélisation H

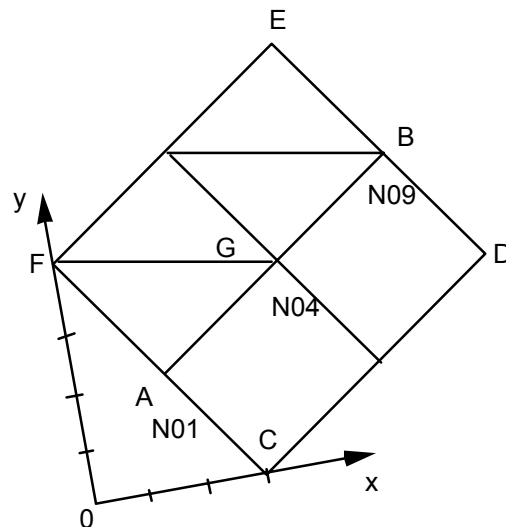
### 18.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
T(A) °C	100.	100.00	0.00
T(B) °C	20.	20.00	0.00
T(G) °C	60.	60.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{i}$ $(\forall m) W / m^2$	960.	960.00	0.00
$\vec{\varphi}(m).\vec{j}$ $(\forall m) W / m^2$	720.	720.00	0.00

## 19 Modélisation I

### 19.1 Caractéristiques de la modélisation

Volumique (TETRA10)



	x	y	
C	0.03	0	
D	0.07	0.03	
E	0.04	0.07	
F	0	0.04	
A	0.015	0.02	N01
B	0.055	0.05	N09
G	0.035	0.035	N04

### 19.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 125

Nombre de mailles et types : 48 TETRA10 + 16 TRIA6

### 19.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	3D	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE		PARM_THETA	1.0
CALC_CHAM_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	FLUX_ELGA_TEMP	

## 20 Résultats de la modélisation I

### 20.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
T(A) °C	100.	100.00	0.00
T(B) °C	20.	20.00	0.00
T(G) °C	60.	60.00	0.00
$\vec{\phi}(m).\vec{i} \quad (\forall m) W / m^2$	960.	960.00	0.00
$\vec{\phi}(m).\vec{j} \quad (\forall m) W / m^2$	720.	720.00	0.00

## 21 Modélisation J

### 21.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un cas test fonctionnel et de non-régression informatique du calcul de l'indicateur d'erreur a posteriori implanté en thermique (cf. [R4.10.03]). Il exhume une cartographie d'erreur spatiale sur laquelle va s'appuyer, dans une boucle PYTHON, l'outil de raffinement/déraffinement HOMARD encapsulé dans MACR\_ADAP\_MAIL (cf. [U7.03.01]).

Le calcul de cette carte d'indicateur d'erreur s'effectue, via l'option 'ERTH\_ELEM\_TEMP' de l'opérateur de post-traitement CALC\_ELEM, sur un EVOL\_THER (fournit au mot-clé RESULTAT) provenant d'un calcul thermique antérieur (linéaire ou non, transitoire ou stationnaire, isotrope ou orthotrope, via THER\_LINEAIRE ou THER\_NON\_LINE, cf. environnement nécessaire, paramétrage et périmètre d'utilisation [R4.10.03] §6.2/4).

Ce calcul requiert au préalable le recours à l'option 'FLUX\_ELNO\_TEMP' de CALC\_ELEM qui détermine les valeurs du vecteur flux thermique aux nœuds (cf. exemple d'utilisation [R4.10.03] §6.5).

L'indicateur est constitué de quinze composantes par élément et pour un instant donné. Dans ce cas test, on calcule les quinze composantes mais la procédure de raffinement/déraffinement ne s'appuie que sur la composante ERTABS qui représente l'erreur spatiale totale absolue (cf. [R4.10.03] §6.3).

Afin de pouvoir post-traiter via POST\_RELEVE ou GIBI, on a besoin d'extrapoler des champs par élément en des champs aux nœuds par élément. Le rajout de l'option 'ERTH\_ELNO\_ELEM' (après l'appel à 'ERTH\_ELEM\_TEMP') permet d'effectuer cette transformation purement informatique. Pour un instant et un élément fini donné, elle ne fait que dupliquer les quinze composantes de l'indicateur sur chaque nœud de l'élément.

Cette modélisation constitue donc autant un exemple d'utilisation, dans une boucle PYTHON, des couplages « calcul d'indicateur »/ « raffinement/déraffinement de maillage » possibles, qu'un cas test de non-régression des options 'ERTH\_ELEM\_TEMP' et 'ERTH\_ELNO\_ELEM' et de leurs adhérence avec le processus de remaillage.

Ce cas test reprend les caractéristiques de la modélisation I et de son maillage (TETRA10 + TRIA6) associé.

### 21.2 Fonctionnalités testées

Commandes			
AFFE_CHAR_THER_F	FLUX_REP	ECHANGE	TEMP_IMPO
AFFE_MODELE	3D	THERMIQUE	
THER_LINEAIRE			
CALC_ELEM	FLUX_ELNO_TEMP	ERTH_ELEM_TEMP	ERTH_ELNO_ELEM
MACR_ADAP_MAIL	RAFFINEMENT		

## 22 Résultats de la modélisation J

### 22.1 Valeurs testées

On teste la non-régression informatique de la composante ERTREL (erreur spatiale totale relative) de l'indicateur d'erreur par rapport aux versions V6.2.1 des plate-formes SGI et SUN du Code\_Aster et de la version V4.3 du logiciel HOMARD. La tolérance relative est donc sévère :  $5 \cdot 10^{-6} \%$ .

Identification	Aster	Tolérance
Valeur de ERTREL sur la maille MA1 avant remaillage	$4.15918735 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Valeur de ERTREL sur le noeud NO4 avant remaillage	$4.15918735 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Valeur de ERTREL sur la maille M1 après remaillage	$5.48408914 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$

## 23 Synthèse des résultats

---

Le champ solution (linéaire) appartient à l'espace d'interpolation de tous les éléments testés. Les résultats sont donc naturellement excellents.

Page laissée intentionnellement blanche.