

**Manuel de Validation****Fascicule V4.21 : Thermique transitoire des structures linéiques****Document : V4.21.001**

# TTLL01 - Choc thermique sur un mur infini

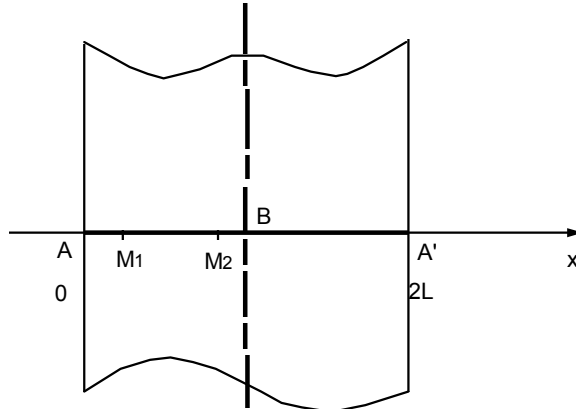
---

**Résumé :**

- Thermique linéaire transitoire,
- éléments 2D et 3D (7 modélisations),
- intérêts du test :
  - teste l'algorithme de thermique linéaire transitoire avec changement de pas de temps,
  - température imposée (avec discontinuité),
  - archivage de certains pas de temps.
- Le choc est modélisé de 2 façons différentes :
  - par une rampe linéaire :  $\Delta T = 100.$  en  $10^{-3}$  seconde,
  - par une vraie discontinuité de température imposée.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



$$\begin{aligned} \overline{AA'} &= 2L = 2 \text{ m} \\ x(M1) &= 0.2 \text{ m} \\ x(M2) &= 0.8 \text{ m} \end{aligned}$$

### 1.2 Propriétés de matériaux

$$\begin{aligned} \lambda &= 1 \text{ W/m } ^\circ\text{C} \\ \rho C_p &= 1 \text{ J/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

- A :  $T(0, t) = T_p = 100^\circ\text{C}$  pour  $t > 0$
- A' :  $T(2L, t) = T_p = 100^\circ\text{C}$

### 1.4 Conditions initiales

$$T(x, 0) = 0^\circ\text{C} \text{ pour tout } x$$

### 1.5 Précisions concernant les modélisations

Discrétisation en temps (t) :

Le choc thermique exige une discrétisation "fine" en temps près de  $t = 0$ .

Le but du test étant de valider les différents éléments (différentes modélisations), nous avons choisi une unique discrétisation en temps :

10	pas pour	[0.	, 1.D-3]	soit	$\Delta t = 10^{-4} \text{ s}$
9	pas pour	[1 D-3	, 1.D-2]	soit	$\Delta t = 10^{-3} \text{ s}$
9	pas pour	[1.D-2	, 1.D-1]	soit	$\Delta t = 10^{-2} \text{ s}$
9	pas pour	[1.D-1	, 1.]	soit	$\Delta t = 10^{-1} \text{ s}$
10	pas pour	[1.	, 2.]	soit	$\Delta t = 10^{-1} \text{ s}$

Le choc est défini de deux manières différentes :

- pour la modélisation B, il s'agit d'un vrai choc ( $T_p$  est discontinu) :

$$\begin{cases} T_p^-(A) = 0. \\ T_p^+(A) = 100. \end{cases}$$

- pour les modélisations A, C, D, E, F, G, il s'agit d'une rampe linéaire :

$$\begin{cases} T_p(A)_{t=0} = 0. \\ T_p(A)_{t=10^{-3}} = 100. \end{cases}$$

## 2 Solution de référence

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

$$\frac{T(x,t) - T_p}{T_0 - T_p} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi x}{2L}\right) \exp\left\{-\left(\frac{n\pi}{2L}\right)^2 \cdot \frac{\lambda}{\rho C_p} \cdot t\right\}$$

$x$  = abscisse

$t$  = temps

$T_0$  = température initiale

$T_p$  = température imposée

$n$  = 1,3,5,...

### 2.2 Résultats de référence

Températures aux points M1 ( $x = 0.2$ ) et M2 ( $x = 0.8$ ),  
et à différents instants ( $t = 0.1, 0.2, 0.7$  et  $2.0$ ).

Les valeurs de références sont celles données dans le guide VPCS.

### 2.3 Incertitude sur la solution

Série numérique.

### 2.4 Références bibliographiques

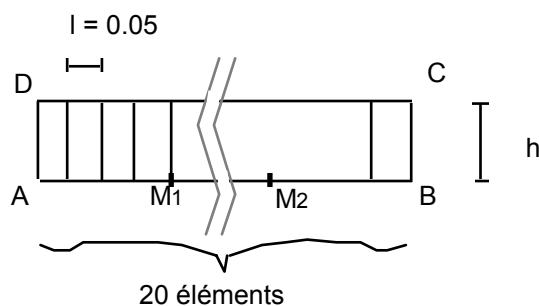
- [1] J.F. SACCADURA : Initiation aux transferts thermiques, Paris, Technique et documentation (1982).

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

#### QUAD8

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments.



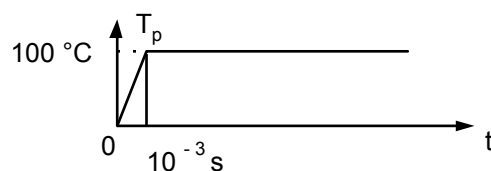
points                      nœuds

M1                      N9  
M2                      N33

Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $j = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



Conditions initiales

$T = 0$  °C

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 103

Nombre de mailles et types : 20 QUAD8

### 3.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST

## 4 Résultats de la modélisation A

### 4.1 Valeurs testées

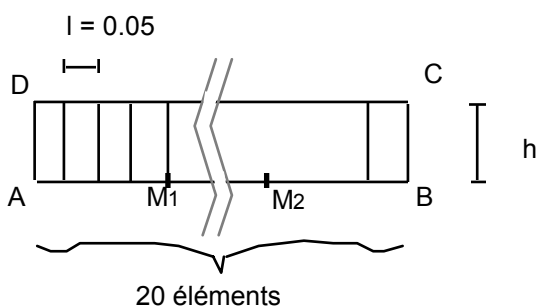
Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2) N9			
t = 0.1	65.48	65.294	-0.28
t = 0.2	75.58	75.814	+0.31
t = 0.7	93.01	92.867	-0.15
t = 2.0	99.72	99.700	-0.02
M2 (x = 0.8) N33			
t = 0.1	8.09	8.0357	-0.67
t = 0.2	26.37	25.790	-2.20
t = 0.7	78.47	78.047	-0.54
t = 2.0	99.13	99.077	-0.05

## 5 Modélisation B

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

#### QUAD8

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments.

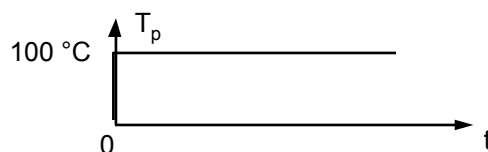


points	nœuds
M1	N9
M2	N33

#### Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\varphi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée  $T_p = 100^\circ\text{C}$



#### Conditions initiales

On affecte directement la température de  $100^\circ\text{C}$  à l'instant 0.

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 103

Nombre de mailles et types : 20 QUAD8

### 5.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	TEMP_INIT	CHAM_NO
RECU_CHAMP	INST	
AFFE_CHAM_NO		

## 6 Résultats de la modélisation B

### 6.1 Valeurs testées

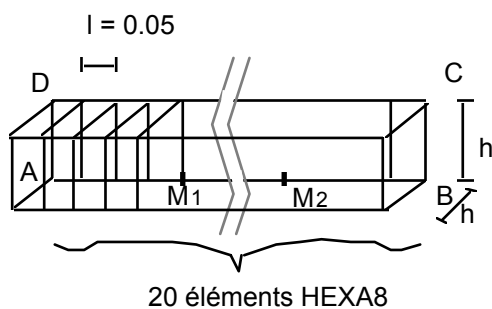
Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2) N9			
t = 0.1	65.48	65.369	-0.17
t = 0.2	75.58	75.841	0.35
t = 0.7	93.01	92.875	-0.14
t = 2.0	99.72	99.700	-0.02
M2 (x = 0.8) N33			
t = 0.1	8.09	8.113	0.28
t = 0.2	26.37	25.872	-1.89
t = 0.7	78.47	78.071	-0.51
t = 2.0	99.13	99.078	-0.05

## 7 Modélisation C

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

#### HEXA8

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments.

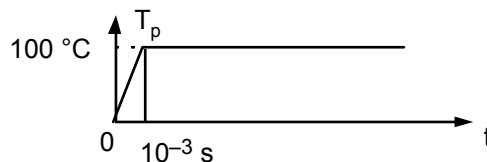


points	nœuds
M1	N21 à N24
M2	N69 à N72

Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\phi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



Conditions initiales

$T = 0^\circ\text{C}$

On fixe ici la durée du choc à 10<sup>-3</sup> s.

### 7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 84

Nombre de mailles et types : 20 HEXA8

### 7.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST



## 8 Résultats de la modélisation C

### 8.1 Valeurs testées

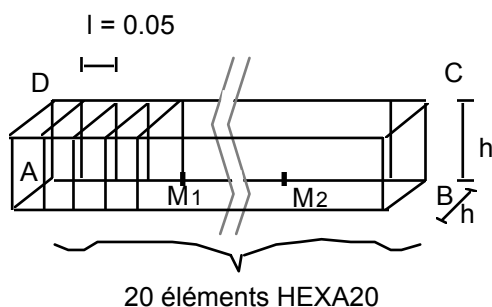
Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2) N21			
t = 0.1	65.48	65.31	-0.26
t = 0.2	75.58	75.81	+0.31
t = 0.7	93.01	92.87	-0.15
t = 2.0	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8) N69			
t = 0.1	8.09	7.98	-1.31
t = 0.2	26.37	25.76	-2.30
t = 0.7	78.47	78.05	-0.53
t = 2.0	99.13	99.08	-0.05

## 9 Modélisation D

### 9.1 Caractéristiques de la modélisation

#### HEXA20

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments.

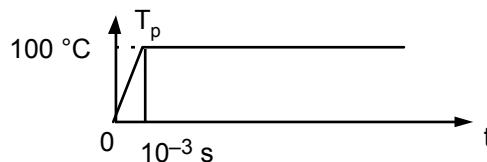


points	nœuds
M1	N57 à N64
M2	N201 à N208

Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\phi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



Conditions initiales

$T = 0^\circ\text{C}$

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

### 9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 248

Nombre de mailles et types : 20 HEXA20

### 9.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST

## 10 Résultats de la modélisation D

### 10.1 Valeurs testées

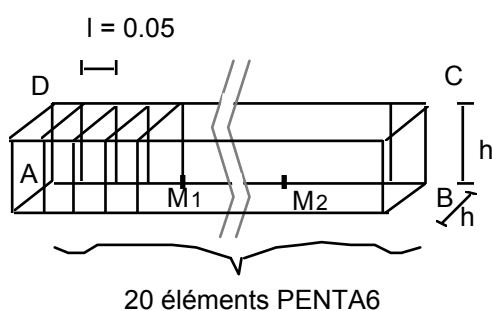
Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2) N57			
t = 0.1	65.48	65.29	-0.28
t = 0.2	75.58	75.81	+0.31
t = 0.7	93.01	92.87	-0.15
t = 2.0	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8) N201			
t = 0.1	8.09	8.04	-0.67
t = 0.2	26.37	25.79	-2.20
t = 0.7	78.47	78.05	-0.54
t = 2.0	99.13	99.08	-0.05

## 11 Modélisation E

### 11.1 Caractéristiques de la modélisation

#### PENTA6

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments. Chaque cube est découpé en 2 pentaèdres.

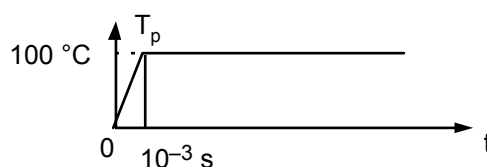


points	nœuds
M1	N21 à N24
M2	N69 à N72

Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\varphi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



Conditions initiales

$T = 0^\circ\text{C}$

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

### 11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 84

Nombre de mailles et types : 40 PENTA6

### 11.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST

## 12 Résultats de la modélisation E

### 12.1 Valeurs testées

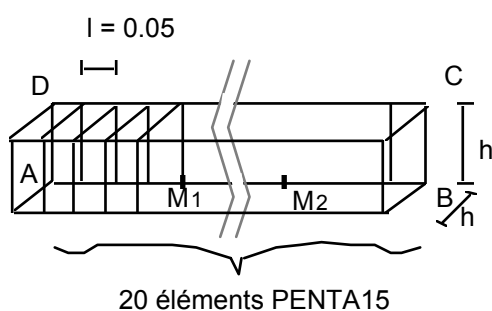
Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2) N21			
t = 0.1	65.48	65.31	-0.26
t = 0.2	75.58	75.81	+0.31
t = 0.7	93.01	92.87	-0.15
t = 2.0	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8) N69			
t = 0.1	8.09	7.98	-1.31
t = 0.2	26.37	25.76	-2.30
t = 0.7	78.47	78.05	-0.53
t = 2.0	99.13	99.08	-0.05

## 13 Modélisation F

### 13.1 Caractéristiques de la modélisation

#### PENTA15

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments. Chaque cube est découpé en 2 pentaèdres.

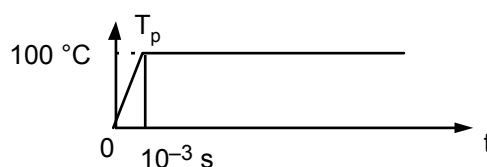


points	nœuds
M1	N62 à N70
M2	N218 à N226

Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\varphi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



Conditions initiales

$T = 0^\circ\text{C}$

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

### 13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 269

Nombre de mailles et types : 40 PENTA15

### 13.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST

## 14 Résultats de la modélisation F

### 14.1 Valeurs testées

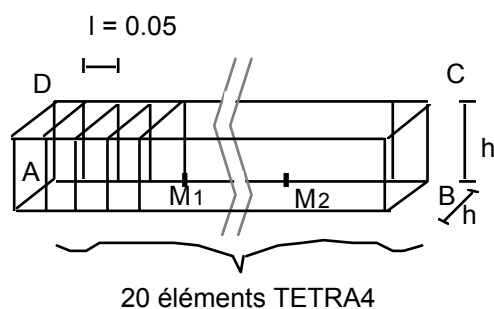
Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2) N62			
t = 0.1	65.48	65.29	-0.28
t = 0.2	75.58	75.81	+0.31
t = 0.7	93.01	92.87	-0.15
t = 2.0	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8) N218			
t = 0.1	8.09	8.04	-0.67
t = 0.2	26.37	25.79	-2.20
t = 0.7	78.47	78.05	-0.54
t = 2.0	99.13	99.08	-0.05

## 15 Modélisation G

### 15.1 Caractéristiques de la modélisation

#### TETRA4

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments. Chaque cube est découpé en 5 tétraèdres.

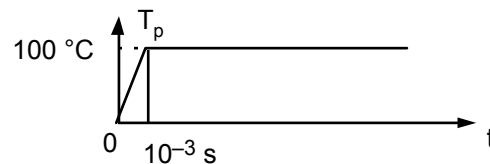


points	nœuds
M1	N12, N17
M2	N48, N53

Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\varphi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



Conditions initiales

$T = 0^\circ\text{C}$

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

### 15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 84

Nombre de mailles et types : 100 TETRA4

### 15.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	TEMP_INIT	STATIONNAIRE
IMPR_RESU	NUMERO_ORDRE	
AFFE_CHAR_THER_F	TEMP_IMPO	



## 16 Résultats de la modélisation G

### 16.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2)			
t = 0.1 N12	65.48	65.37	-0.17
N17	65.49	65.27	-0.33
t = 0.2 N12	75.58	75.84	+0.34
N17	75.58	75.80	+0.29
t = 0.7 N12	93.01	92.88	-0.14
N17	93.01	92.86	-0.16
t = 2.0 N12	99.72	99.70	-0.02
N17	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8)			
t = 0.1 N48	8.09	8.08	-0.11
N53	8.09	7.97	-1.43
t = 0.2 N48	26.37	25.85	-1.96
N53	26.37	25.74	-2.39
t = 0.7 N48	78.47	78.07	-0.51
N53	78.47	78.04	-0.55
t = 2.0 N48	99.13	99.08	-0.05
N53	99.13	99.08	-0.05

### 16.2 Remarques

En début de transitoire, on observe des valeurs légèrement différentes entre les nœuds situés dans un plan  $x = \text{constante}$  ( $< 3$  pour 1000). Cette anomalie semble être due à la modélisation en tétraèdres à 4 nœuds. Les résultats restent néanmoins corrects par rapport aux autres éléments 3D.

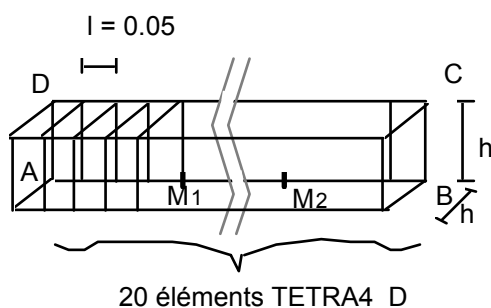
## 17 Modélisation J

### 17.1 Caractéristiques de la modélisation

#### TETRA4\_D

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments. Chaque cube est découpé en 5 tétraèdres.

On utilise la modélisation '3D\_DIAG' appliquée à des TETRA4, qui correspond au lumpage de la matrice de masse thermique.

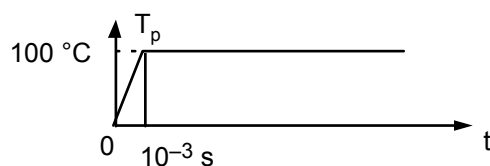


points	nœuds
M1	N12, N17
M2	N48, N53

#### Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\phi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



#### Conditions initiales

$T = 0^\circ\text{C}$

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

### 17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 84

Nombre de mailles et types : 100 TETRA4

### 17.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

Ther_LINEAIRE	TEMP_INIT	STATIONNAIRE
IMPR_RESU	NUMERO_ORDRE	
AFFE_CHAR_THER_F	TEMP_IMPO	

## 18 Résultats de la modélisation J

### 18.1 Valeurs testées

Identification		Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2)				
t = 0.1	N12	65.48	65.34	-0.21
	N17	65.49	65.24	-0.36
t = 0.2	N12	75.58	75.84	+0.34
	N17	75.58	75.80	+0.29
t = 0.7	N12	93.01	92.87	-0.15
	N17	93.01	92.86	-0.16
t = 2.0	N12	99.72	99.70	-0.02
	N17	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8)				
t = 0.1	N48	8.09	8.18	+1.16
	N53	8.09	8.08	-0.15
t = 0.2	N48	26.37	25.90	-1.77
	N53	26.37	25.79	-2.20
t = 0.7	N48	78.47	78.06	-0.52
	N53	78.47	78.02	-0.57
t = 2.0	N48	99.13	99.07	-0.05
	N53	99.13	99.07	-0.05

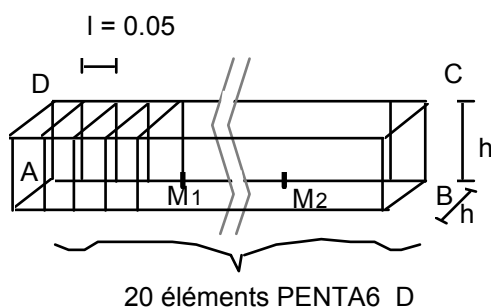
## 19 Modélisation K

### 19.1 Caractéristiques de la modélisation

#### PENTA6\_D

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments. Chaque cube est découpé en 2 pentaèdres.

On utilise la modélisation '3D\_DIAG' appliquée à des PENTA6, qui correspond au lumpage de la matrice de masse thermique.

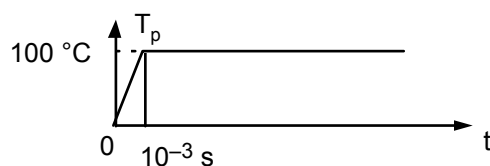


points	nœuds
M1	N21 à N24
M2	N69 à N72

#### Conditions limites

sur [BC], [AB] et [DC] :  $\phi = 0$

sur [AD] :  $T_p$  est imposée



#### Conditions initiales

$T = 0^\circ\text{C}$

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

### 19.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 84

Nombre de mailles et types : 40 PENTA6

### 19.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

THER_LINEAIRE	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST

## 20 Résultats de la modélisation K

### 20.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2)			
t = 0.1	65.48	65.28	-0.30
t = 0.2	75.58	75.81	+0.31
t = 0.7	93.01	92.87	-0.15
t = 2.0	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8)			
t = 0.1	8.09	8.087	-0.03
t = 0.2	26.37	25.81	-2.14
t = 0.7	78.47	78.04	-0.55
t = 2.0	99.13	99.08	-0.05

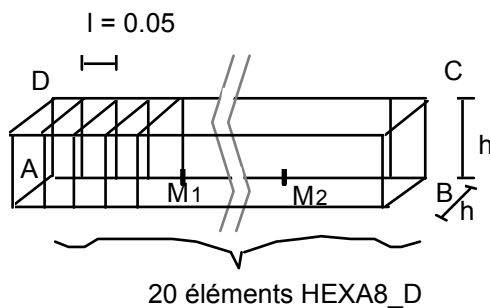
## 21 Modélisation L

## 21.1 Caractéristiques de la modélisation

## HEXA8\_D

On ne maille que la moitié de l'épaisseur du mur par raison de symétrie ; la modélisation est faite sous une hauteur et une épaisseur  $h = 1.0$  avec une seule couche d'éléments.

On utilise la modélisation '3D\_DIAG' appliquée à des HEXA8, qui correspond au lumpage de la matrice de masse thermique.

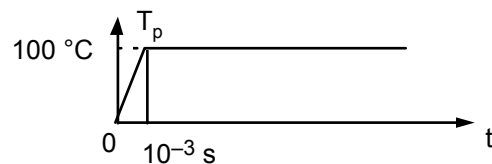


points	nœuds
M1	N21 à N24
M2	N69 à N72

### Conditions limites

sur  $[BC]$ ,  $[AB]$  et  $[DC]$  :  $\varphi = 0$

sur  $[AD]$  :  $T_p$  est imposée



### Conditions initiales

 $T = 0^{\circ}\text{C}$ 

On fixe ici la durée du choc à  $10^{-3}$  s.

## 21.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de noeuds : 84

Nombre de mailles et types : 20 HEXA8

### 21.3 Fonctionnalités testées

## Commandes

THER_LINEAIRE	LIST_INST
RECU_CHAMP	INST

## 22 Résultats de la modélisation L

### 22.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
M1 (x = 0.2)			
t = 0.1	65.48	65.28	-0.30
t = 0.2	75.58	75.81	+0.31
t = 0.7	93.01	92.87	-0.15
t = 2.0	99.72	99.70	-0.02
M2 (x = 0.8)			
t = 0.1	8.09	8.087	-0.03
t = 0.2	26.37	25.81	-2.10
t = 0.7	78.47	78.04	-0.55
t = 2.0	99.13	99.08	-0.05

## 23 Synthèse des résultats

---

Au bout de 0.7 s l'erreur est nettement inférieure à 1% pour les différents éléments thermiques 2D (QUAD8) et 3D (HEXA8 - HEXA20 - PENTA6 - PENTA15 - TETRA4) utilisés.

Il ne semble pas que le lumpage améliore le résultat numérique.

Il conviendrait de tester les éléments lumpés avec un vrai saut comme dans la modélisation B.