

# Note Technique



Institut d'Astrophysique Spatiale

Ref.: IAS-SIAMOIS-TN-01-07

Date: 15-05-07

**Objet:** Modélisation thermique de l'interféromètre de SIAMOIS

## Conclusions principales :

- Un échelon de +10°C dans la pièce produit une élévation de 53 mK à l'emplacement des lames à retard après 12 h.
- Un système de régulation actif de la température (type climatisation) garantissant un intervalle maximum de +/- 5°C dans la pièce suffit pour que les spécifications au niveau des éléments optiques sensibles soient respectées.

Ecrit par : J.C. Le Clec'h (Ingénieur thermo mécanique)

Contrôlé par : J.J. Fourmond (Expert thermique)

Approuvé par: T. Appourchaux (Chef d'équipe)

## SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	3
1.1	Objectifs et cadre de l'étude .....	3
1.2	Documents .....	3
1.2.1	Documents applicables.....	3
1.2.2	Documents de référence .....	3
2	DESCRIPTION DU MODÈLE .....	4
2.1	Objectifs et cadre de la modélisation.....	4
2.2	Conditions limites d'Interfaces.....	4
2.3	Présentation des éléments considérés.....	4
2.4	Description des paramètres du modèle.....	5
2.4.1	Dimensions du modèle .....	5
2.4.2	Matériaux et caractéristiques géométriques .....	6
2.4.3	Propriétés des matériaux utilisés.....	6
2.4.4	Conditions limites de température et chargement .....	7
2.4.5	Couplages Thermiques.....	7
2.5	Fonctionnalités .....	7
2.6	Représentativité.....	7
3	INTERFACES .....	8
4	MODELE THERMIQUE .....	9
4.1	But du modèle .....	9
4.2	Configuration du modèle .....	9
4.3	Cas de charge .....	9
4.4	Résultats.....	9
4.5	Validation du modèle thermique .....	11
5	CONCLUSIONS.....	12
6	ANNEXES.....	13
	ANNEXE A.....	14
	ANNEXE B.....	15
	ANNEXE C .....	18

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 Objectifs et cadre de l'étude

Le but de cette modélisation est d'évaluer la faisabilité de l'interféromètre de SIAMOIS, en terme de tenue aux tolérances thermiques définies dans le document DR1. Le comportement thermique en régime transitoire est obtenu à partir d'un modèle par éléments finis sous Ideas/TMG©.

## 1.2 Documents

### 1.2.1 Documents applicables

DA1 : « Définition des pièces mécaniques de l'interféromètre », ref. : SIAM-Méca-06-03

DA2 : « design interféromètre », fichier Catia© ref. : SIAM-Meca-07-02

### 1.2.2 Documents de référence

DR1 : « Spécifications thermiques de l'instrument », ref. : SIAM-Therm-06-01

DR2 : « Architecture Mécano-Thermique de l'instrument », ref. : SIAM-Méca-06-01

#### 1.2.2.1 Références Normatives

None

#### 1.2.2.2 Références Informatives

None

## 2 DESCRIPTION DU MODÈLE

### 2.1 Objectifs et cadre de la modélisation

- Le modèle doit être aussi représentatif que possible.
- Les résultats obtenus (distribution des températures en fonction du temps) doivent conduire à la conclusion que l'inertie thermique du banc est suffisante pour que les variations de températures du sol et de l'atmosphère de la pièce ne mettent pas en danger les performances optiques.
- Les spécifications d'intervalle de température données dans le document DR1 doivent être respectées pour des cas de chargement thermique simulant une situation réelle.
- Le modèle et le calcul ont été faits grâce au logiciel IDEAS v12 ©. Le nom du fichier modèle est **modtherm\_interferometre\_12.mf1**.

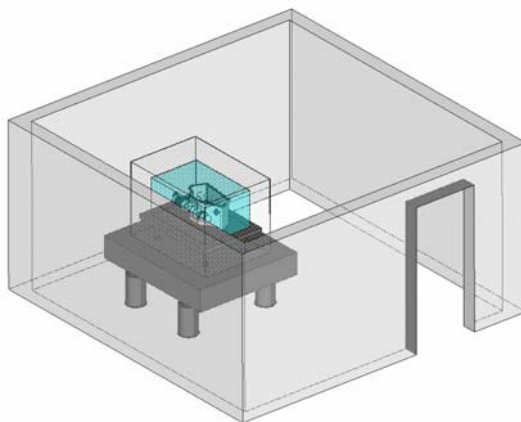
### 2.2 Conditions limites d'Interfaces

- Les parois des différentes cuves sont supposées recouvertes de MLI. Les transferts radiatifs sont négligés.

### 2.3 Présentation des éléments considérés

L'interféromètre est constitué des pièces suivantes (cf. fig. 1 et 2) :

- Un marbre M-RS4000 – 5x6 – 12 (catalogue Newport pp1061-1063) posé sur le sol au moyen de 4 isolateurs pneumatiques PL-2000-N19.5 LabLegs (catalogue Newport pp1117-1118)
- Un plateau d'instrumentation M-RG d'épaisseur 59mm (catalogue Newport p1081 et p1087) monté sur le marbre grâce à 4 colonnes de support M-XP-10 (catalogue Newport p785)
- Un premier capot posé sur le marbre, un second posé sur le plateau.
- Fixées sur le plateau à l'intérieur du second capot se trouvent les optiques, la caméra et la cuve à vide contenant la partie thermiquement sensible de l'interféromètre.



La figure 1 représente l'interféromètre dans une pièce de 4m x 4m x 2m30

Fig. 1 : vues d'ensemble de l'interféromètre

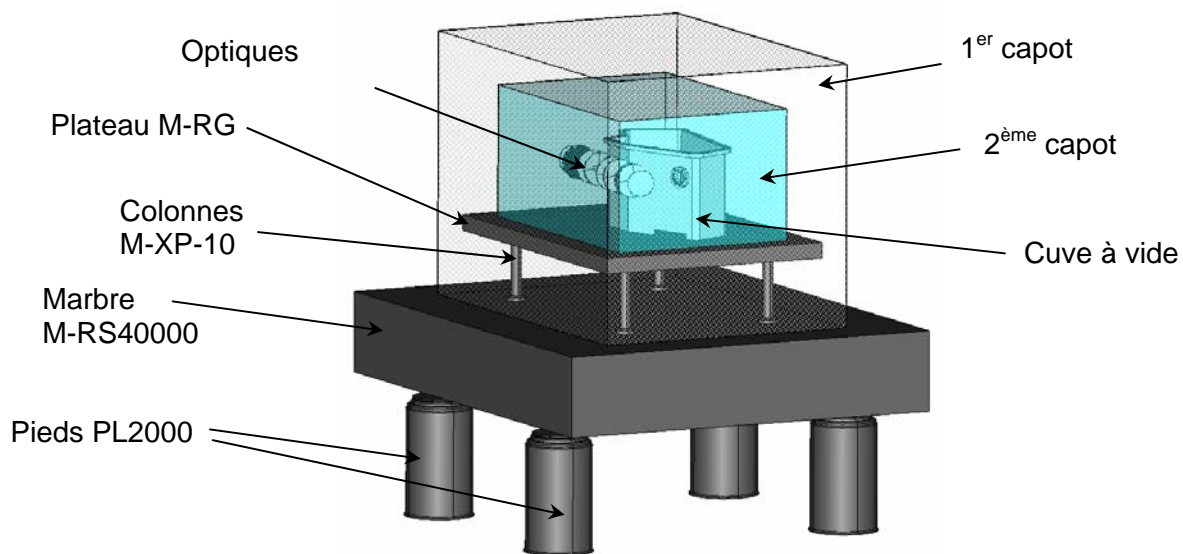


Fig. 2 : présentation des éléments

La figure 3 ci-dessous est une vue plus précise de l'ensemble des optiques et la cuve à vide.

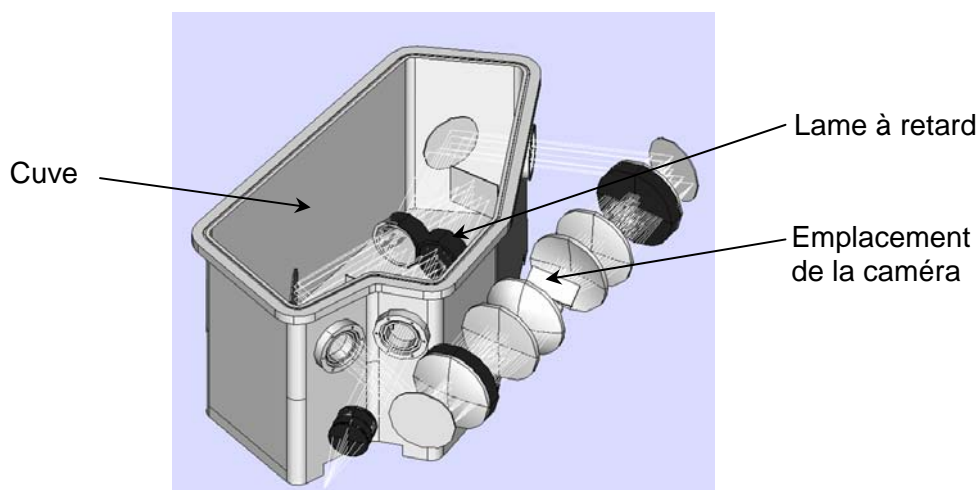


Fig. 3 : schéma optique et cuve à vide

## 2.4 Description des paramètres du modèle

### 2.4.1 Dimensions du modèle

Pour le marbre, le banc et les pieds, les dimensions correspondent à la fibre neutre des éléments mécaniques présentés dans les documents DA1 et DR2.

Pour la cuve et la caméra les dimensions correspondent à la fibre neutre des éléments mécaniques présentés dans les documents DA1, DA2 et DR2.

Les dimensions des capots ont été choisies de manière à rester cohérent avec le reste de la géométrie définie. La taille du premier capot est de  $1000 \times 1400 \text{ mm}^2$ ,  $h = 1000 \text{ mm}$ . La taille du second capot est de  $700 \times 1000 \text{ mm}^2$ ,  $h = 500 \text{ mm}$ .

Le modèle contient 2828 noeuds et 2690 éléments.

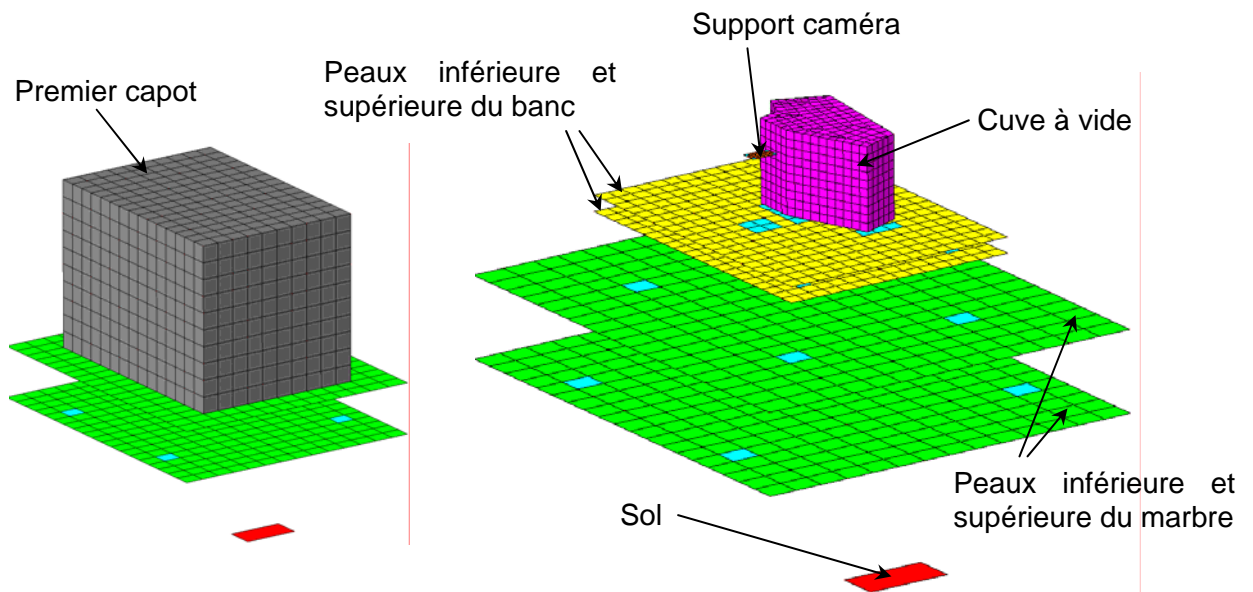


Fig. 4 : vues globales du modèle EF, avec et sans capot

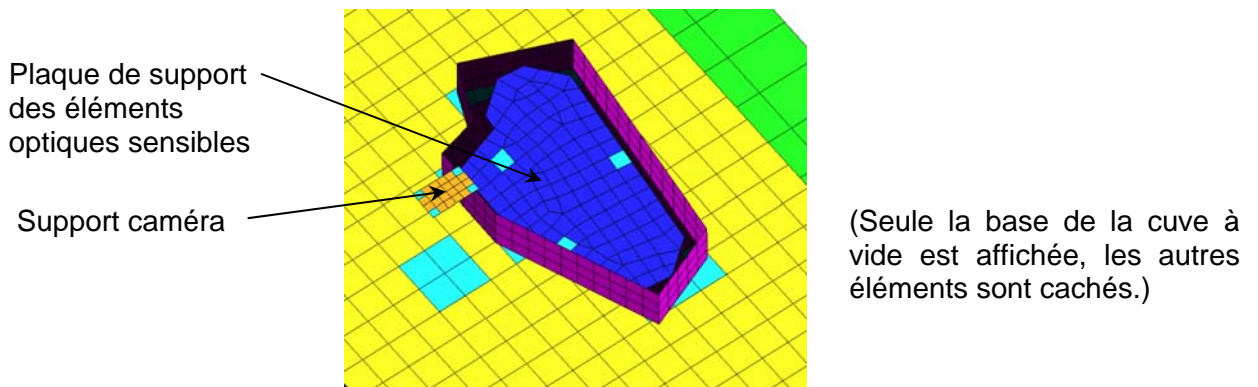


Fig. 5 : zoom

#### 2.4.2 Matériaux et caractéristiques géométriques

Pour la cuve, les matériaux, les dimensions et les épaisseurs correspondent à la définition donnée dans le fichier Catia© DA2.

Pour les éléments provenant du catalogue Newport, la géométrie et les matériaux correspondent aux informations données aux pages données au §2.3. Toutes les valeurs utilisées dans le modèle sont récapitulées en [annexe A](#).

#### 2.4.3 Propriétés des matériaux utilisés

Les caractéristiques des matériaux présents dans le modèle sont présentées dans le tableau suivant :

		Alu	Super Invar
Densité	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2.8	7.8
Conductivité thermique	$\lambda$ (W/(m.K))	130	13
Chaleur spécifique	$C_p$ (J/(kg.K))	900	450

Table 1 : Propriétés des matériaux

#### 2.4.4 Conditions limites de température et chargement

L'étude porte sur l'établissement de la température suite à un échelon de température. L'interféromètre se trouve dans une pièce où la température est contrôlée par un système actif de régulation, et fixée à 20°C (+/- 5°C).

Cette étude considère le cas pire :

- la température initiale de tous les éléments est de 15°C
- à l'instant  $t=0.1$  s, la température de l'air et celle du sol (représenté par un élément) augmentent jusqu'à 25°C et conservent cette valeur tout le temps de la simulation.

On considère pour le moment qu'aucune puissance n'est dissipée par la caméra au niveau de ses interfaces, pour isoler l'action de l'air ambiant sur l'interféromètre. D'autre part, la puissance dissipée par la caméra est constante dans le temps, ses variations temporelles sont rapides par rapport aux temps caractéristique des observables et sont en moyenne identique sur l'ensemble des poses. De plus, elles sont de faible amplitude et filtrées par le boîtier caméra et l'ensemble mécanique de support.

#### 2.4.5 Couplages Thermiques

Les différents pieds et toutes les pièces qui constituent une interface ne sont pas représentés. Ces pièces sont modélisées par des couplages thermiques. Le calcul de ces couplages est détaillé dans l'[annexe B](#).

### 2.5 Fonctionnalités

Les paramètres suivants doivent être facilement modifiables :

- ⇒ Matériaux et épaisseurs des pièces
- ⇒ Température initiale, conditions limites
- ⇒ Cas de chargement thermique
- ⇒ Puissance dissipée par la caméra
- ⇒ Valeur des couplages thermiques et zones d'application

Le maillage thermique, mécaniquement discontinu, doit pouvoir être aisément transformé en un maillage pouvant conduire à des calculs thermomécaniques.

### 2.6 Représentativité

Le modèle doit être aussi représentatif que possible, pour que la simulation reflète précisément le comportement thermique réel de l'interféromètre.

#### Géométrie :

La géométrie considérée est définie par la fibre neutre du design 3D développée par le LESIA (DA1, DA2 et DR2).

Aucun composant optique n'est représenté. Leur masse n'est pas non plus prise en compte. De même pour le second capot. Ceci constitue un cas pire car cette masse augmentera l'inertie thermique de l'ensemble et contribuera à retarder l'établissement de la température au niveau des éléments sensibles.

Certaines pièces ne sont pas encore définies, comme par exemple le support de la caméra. Dans ce type de cas, les

dimensions choisies pour le calcul des couplages thermiques sont surdimensionnées et donc constituent un cas défavorable.

**Matériaux :** Les propriétés utilisées pour les matériaux proviennent des bases de données IAS.

La valeur de la conductivité thermique du nid d'abeille est donnée dans le catalogue Newport p1087 dans la caractérisation du plateau M-RG.

**Conditions limites :** La température initiale et son évolution correspondent au pire des chargements thermiques pouvant s'appliquer sur l'interféromètre en mode nominal.

**Puissance appliquée :** Puisque la puissance dissipée par la caméra est constante en fonction du temps, quelle que soit sa valeur, les résultats que donnent cette étude conserveront leur pertinence en terme d'écart de température

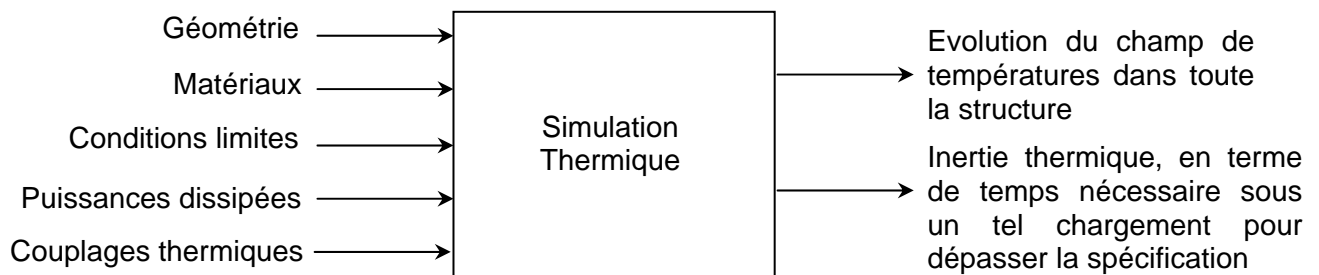
**Couplage thermiques:** Les valeurs sont calculées sur la base des matériaux et de la géométrie définie. (cf. [annexe B](#)).

La convection naturelle est considérée entre l'air ambiant et le premier capot. Par contre elle n'est pas considérée entre le premier et le deuxième capot, ni entre le deuxième capot et la cuve à vide, pour des raisons de limitation du logiciel IDEAS© à ce niveau.

Le modèle n'est pas totalement représentatif de ce point de vue. Ceci dit, la surface totale du premier capot est de 7.8 m<sup>2</sup>, alors que celle du second capot est de 3.1 m<sup>2</sup>. On peut considérer que la convection est prise en compte au premier ordre.

D'autre part, la pression atmosphérique utilisée est de 1013 hPa, alors que sur le site du Dôme-C, la pression moyenne est de 650 hPa. Ceci constitue un cas pire pour le modèle.

### 3 INTERFACES





## 4 MODELE THERMIQUE

### 4.1 But du modèle

Le modèle devra donner une idée précise de la distribution des températures en fonction du temps. Il devra aussi et surtout donner une idée précise du temps au bout duquel l'écart de température au niveau des lames à retard dépasse la spécification.

### 4.2 Configuration du modèle

Les valeurs des paramètres correspondent au design mentionné au §2.4.1.

### 4.3 Cas de charge

Le chargement appliqué consiste en un échelon de température d'amplitude  $+10^{\circ}\text{C}$ , pendant la durée de la simulation, c'est-à-dire 12 h soit 43200 s.

### 4.4 Résultats

On ne présente dans ce paragraphe que les résultats principaux. L'évolution des champs de température est présentée plus en détails en [annexe C](#).

La figure 6 montre l'interféromètre avec le premier capot à  $t = 0$  s, et à  $t = 43200$  s :

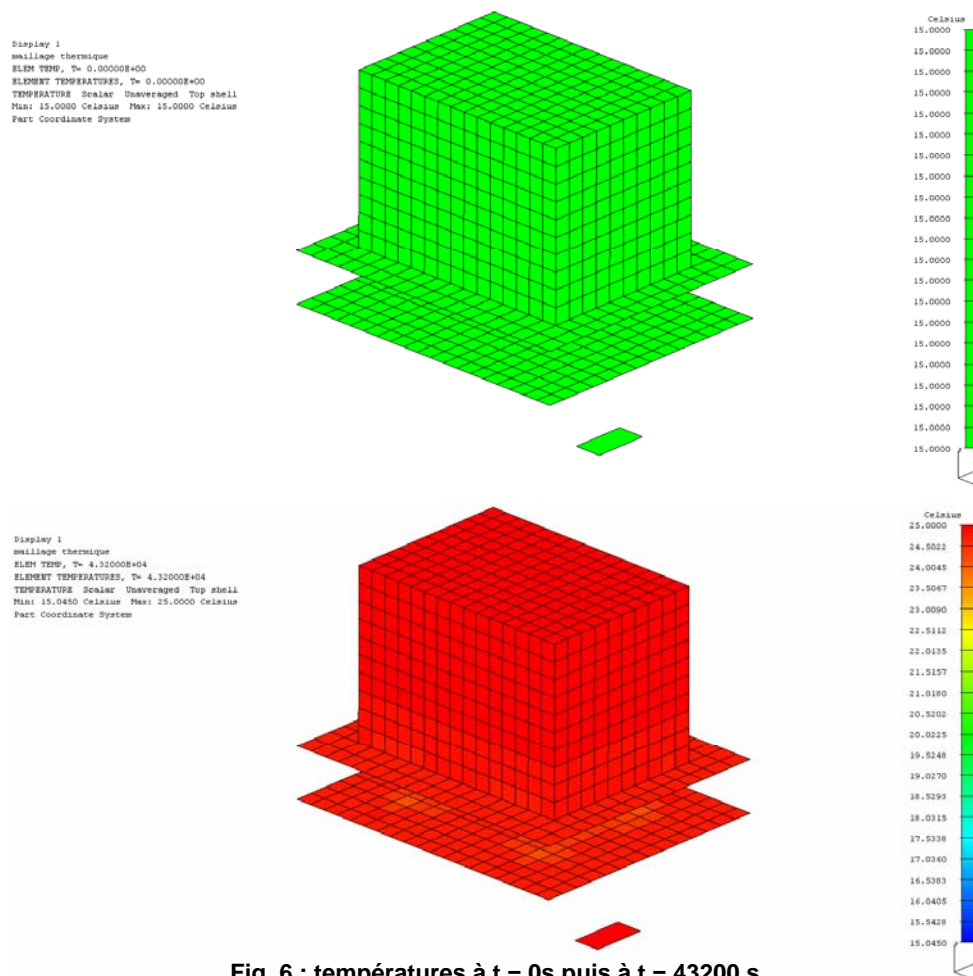
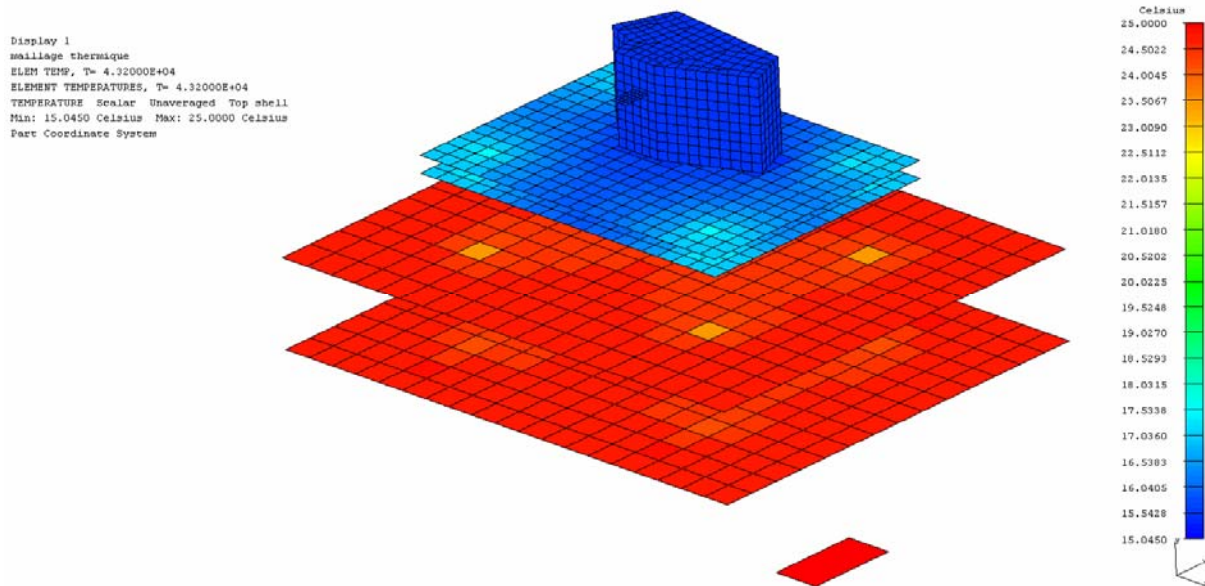


Fig. 6 : températures à  $t = 0$ s puis à  $t = 43200$  s

La condition initiale a été correctement prise en compte ( $t = 15^{\circ}\text{C}$ ), et on voit qu'au bout de 12 h, toutes les parois extérieures de l'interféromètre se sont alignées sur la température du sol et de l'air ( $25^{\circ}\text{C}$ )

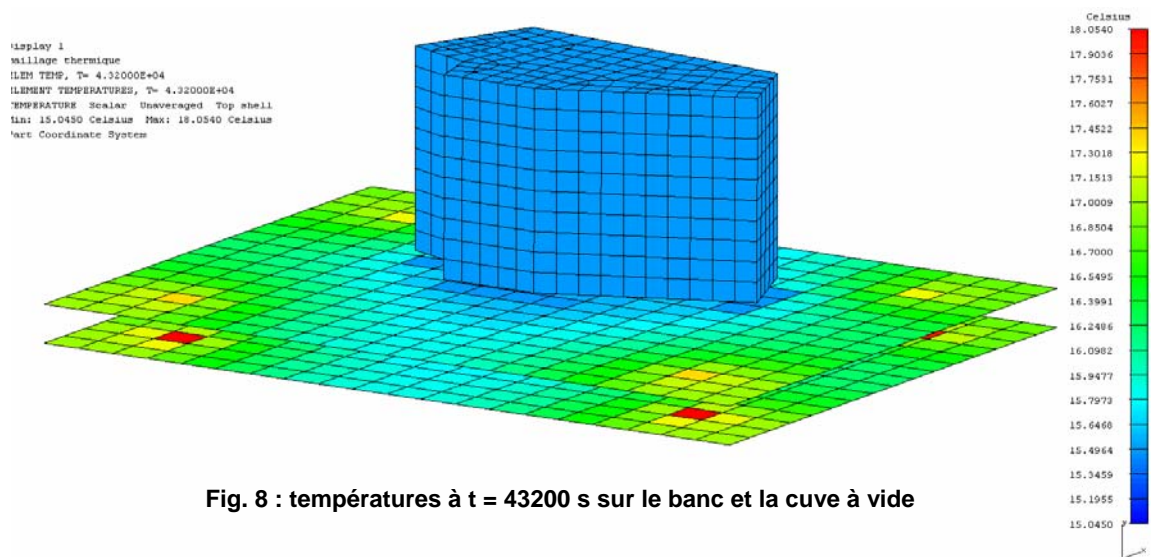
La figure 7 montre à nouveau l'interféromètre à  $t = 43200$  s, mais les éléments du premier capot ne sont pas affichés :



**Fig. 7 : températures à  $t = 43200$  s sur l'interféromètre sans capot**

La cuve à vide reste à une température proche de la température initiale après 12h d'exposition à un sol et à l'air ambiant supérieure dont la température est supérieure de  $10^{\circ}\text{C}$ .

La figure 8 montre le champ de températures au même instant, sur le banc et la cuve à vide :



**Fig. 8 : températures à  $t = 43200$  s sur le banc et la cuve à vide**

La chaleur se propage par conduction uniquement au niveau des interfaces des pieds.

La figure 9 montre le champ de températures au même instant, sur la plaque de support des éléments optiques sensibles :

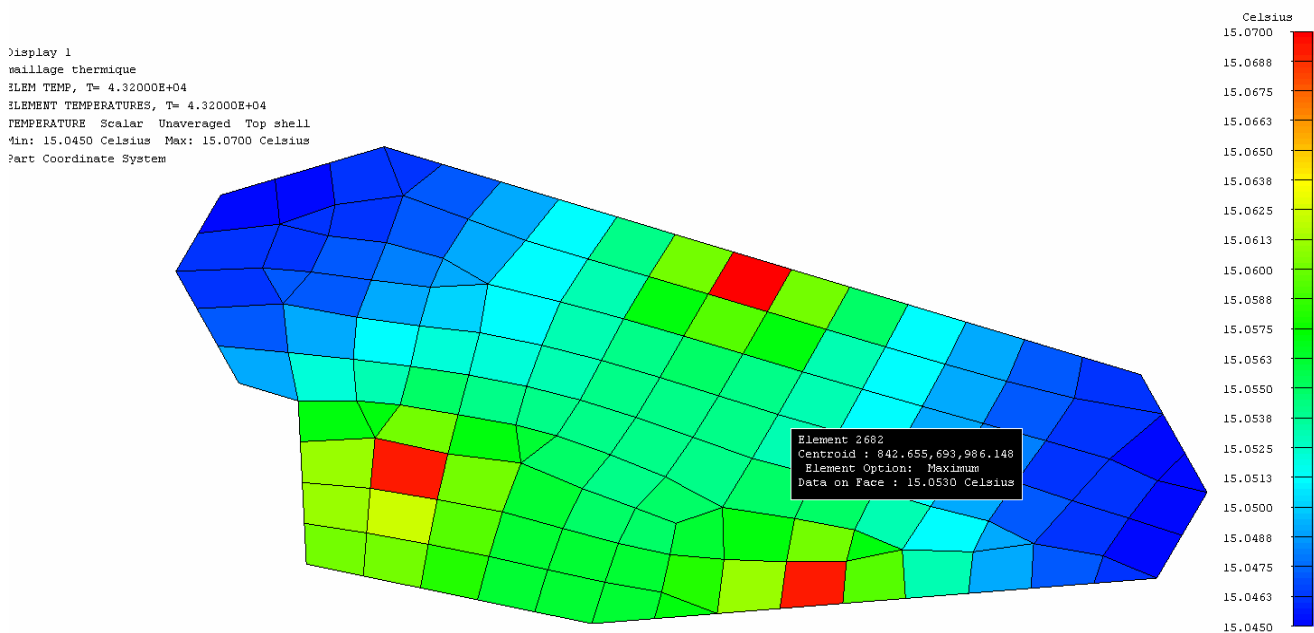


Fig. 9 : températures à t = 43200 s sur la plaque de support

L'élévation de la température à l'emplacement de la lame à retard est de 53 mK au bout de 12 h.

Un autre résultat intéressant est donné par défaut dans le fichier « message file » **MSGF**, généré pendant le calcul : le bilan de flux au niveau des puits thermiques ; soit dans étude, le sol et l'air ambiant.

Sink Entity	Energy absorbed since start
STEP SOL +10K	-3.6903E+04
AMBIENT	-1.1916E+06

N.B. : dans les fichiers générés, les énergies sont exprimées en joules J.

Soit au total une énergie de **1.2285 MJ** est nécessaire au niveau de l'air et du sol pour que la spécification ne soit pas tenue.

#### 4.5 Validation du modèle thermique

Afin de s'assurer de la validité des calculs,

- les conductances sont vérifiées à partir des résultats. (le détail de ces vérifications n'est pas donné ici)
- le bilan de puissance est effectué sur la totalité des éléments constituant l'interféromètre. Si le calcul est juste, l'intégralité de l'énergie livrée par l'air et le sol doit être absorbée par l'interféromètre.

Ce bilan est donné dans le fichier « report file » **REPF**. A t = 43200 s, ce bilan est de :

Heat absorbed by INTERFE 1.2285E+06 since time 0.0000000E+00

L'énergie absorbée par l'interféromètre correspond avec la quantité d'énergie reçue provenant de l'air et du sol, le bilan est exact.

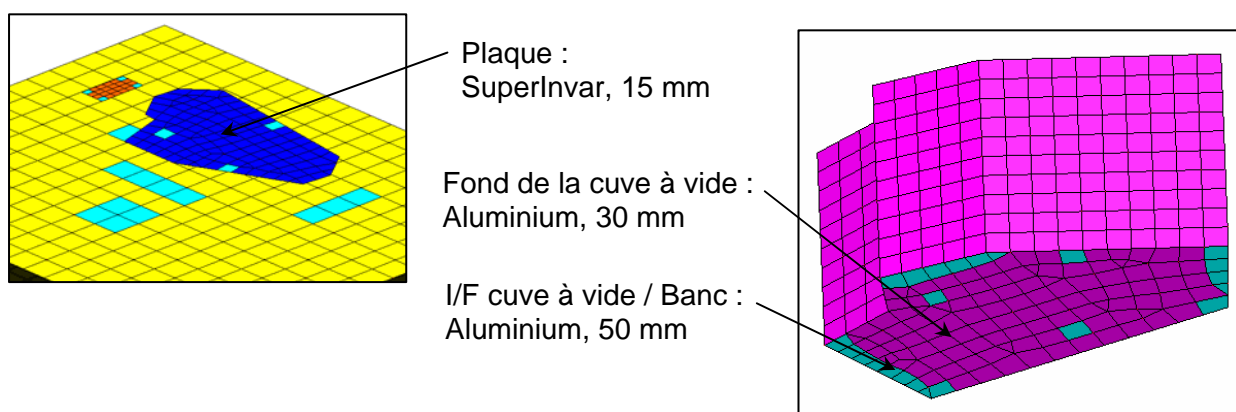
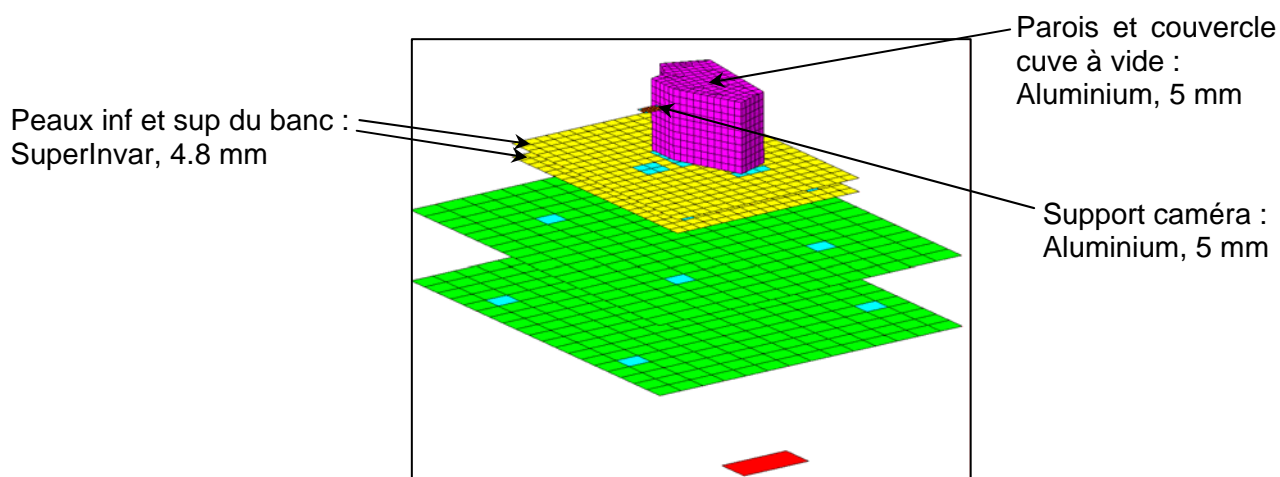
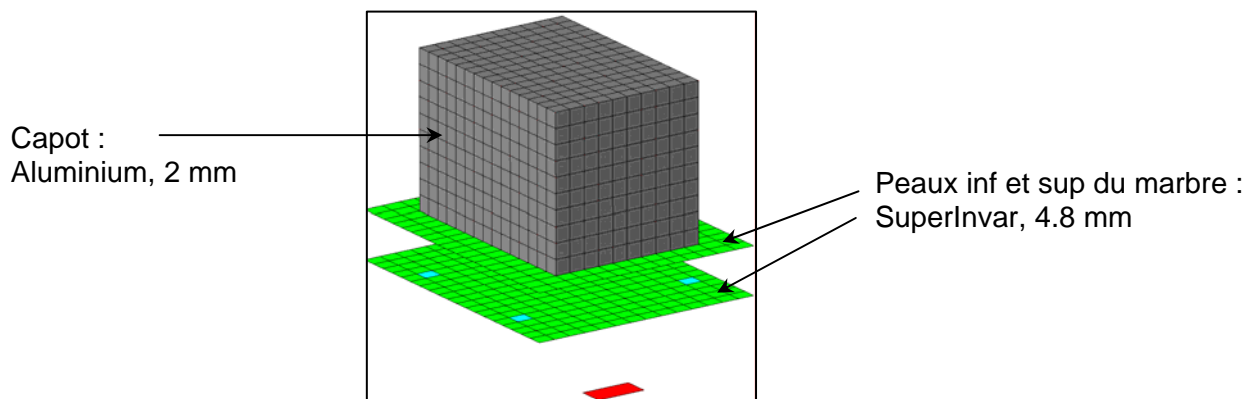
## **5 CONCLUSIONS**

- Cette étude montre que pour sortir des spécifications, il faut apporter à l'interféromètre une énergie d'environ 1.23 MJ, (soit une puissance constante de 28W pendant 12 h par exemple, ou une puissance de 340 W pendant 1 h)
- Ce résultat montre que l'inertie thermique de l'interféromètre est suffisamment grande pour filtrer toutes les potentielles variations thermiques.
- La stabilité thermique requise pour l'interféromètre peut être atteinte avec une marge de sécurité importante en climatisant la pièce.
- Du point de vue thermique, l'interféromètre de SIAMOIS est faisable.

## **6 ANNEXES**

## ANNEXE A

Dans cette annexe sont récapitulés les paramètres de matériaux et d'épaisseurs de coques utilisés dans le modèle :



Rq : Le matériau et l'épaisseur de l'élément représentant le sol n'ont pas d'importance puisque la température y est imposée et non calculée.

## ANNEXE B

Dans cette annexe on donne le détail du calcul des couplages thermiques. Les éléments colorés en **bleu clair** sont les **zones d'application** des couplages.

### Couplages conductifs :

- Marbre / sol

Les « LabLegs PL-2000 » sont considérés comme équivalent thermiquement à la superposition d'un cylindre de diamètre 40 mm et de longueur 35 mm (partA), avec un cylindre creux de diamètres 234 et 254 mm et de longueur 450 mm (partB).

Les 4 éléments d'interface sont situés en peau inférieure du marbre et ont une surface totale de  $4,06.10^{-2} \text{ m}^2$ .

Ces éléments sont reliés au sol.

- Banc / marbre

Les colonnes M-XP-10 sont considérées comme des cylindres de diamètre 39.7 mm et de longueur 254 mm.

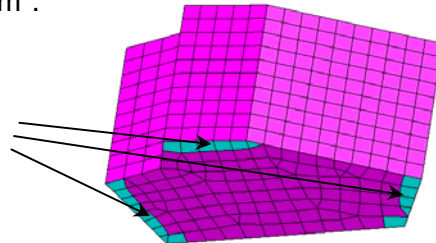
Les 4 éléments d'interface sont situés en peau inférieure du banc et ont une surface de  $1,35.10^{-2} \text{ m}^2$ .

Ils sont reliés aux 4 éléments situés en peau supérieure du marbre, au niveau de leur projection.

- Cuve / banc

La cuve est fixée directement sur le banc, par trois pieds de hauteur 20 mm et de surface totale  $0.03 \text{ m}^2$ . Dans le modèle, les éléments d'interface sont des éléments de l'embase de la cuve à vide. Ils ont surface de  $1,67.10^{-2} \text{ m}^2$ .

Eléments d'interface  
Surface =  $1,67.10^{-2} \text{ m}^2$



Ces éléments sont reliés aux éléments de la peau supérieure du banc situés au niveau de leur projection.

- Plaque / cuve

La plaque est supportée par trois « pieds intérieurs » de section totale  $1,5.10^{-4} \text{ m}^2$  et de hauteur 40 mm.

Les 3 éléments d'interface sont situés sur la plaque et ont une surface de  $2,91.10^{-3} \text{ m}^2$

Ils sont reliés aux éléments de l'embase de la cuve, au niveau de leur projection.

- Support caméra / banc

On a considéré dans cette étude que le support était constitué de 4 pieds d'une hauteur de 258 mm, et de section 10 mm x 10 mm chacun, soit une section totale de  $4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ .

- Marbre peau inf / peau sup

Ce couplage représente la conduction au niveau du nid d'abeille. Les deux peaux sont reliées entre elles, avec une surface contact de  $2.7 \text{ m}^2$ , et une hauteur de 305 mm.

Les éléments d'interface sont tous les éléments de la peau supérieure du marbre, soit une surface de  $2.7 \text{ m}^2$ . Ils sont reliés à tous les éléments de la peau inférieure.

- Banc peau inf / peau sup

De même, ce couplage représente la conduction au niveau du nid d'abeille. Les deux peaux sont reliées entre elles, avec une surface contact de  $1.08 \text{ m}^2$ , et une hauteur de 59 mm.

Les éléments d'interface sont tous les éléments de la peau supérieure du banc, soit une surface de  $1.08 \text{ m}^2$ . Ils sont reliés à tous les éléments de la peau inférieure.

Grâce aux paramètres géométriques, les conductances sont calculées en utilisant la relation suivante :

$$C = \frac{\lambda \cdot S_{app}}{e}$$

Puis les "coupling coefficients" sont déduits en utilisant l'aire des éléments sur lesquels s'applique chaque couplage :

$$h = \frac{C}{S_{FEM}}$$

La conductance entre le marbre et le sol résulte de deux conductances en série. Sa valeur sera donc

$$C_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_b}}$$

Le tableau suivant récapitule les valeurs utilisées :

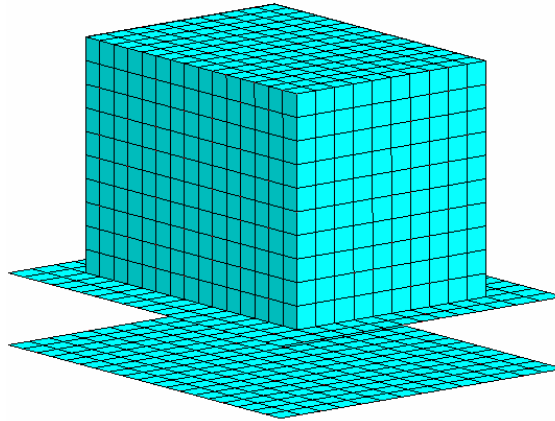
	Thermal conductivity	Contact area	Thickness	Conductance	I/F Elements area	Coupling coefficient
	$\lambda$ (W/m.K)	$S_{app}$ (m <sup>2</sup> )	e (m)	C (W/K)	$S_{FEM}$ (m <sup>2</sup> )	h (W/m <sup>2</sup> .K)
<b>marbre / sol partA</b>	13	1,25E-03	3,50E-02	<b>4,64E-01</b>		
<b>marbre / sol partB</b>	13	7,66E-03	4,50E-01	<b>2,21E-01</b>		
<b>marbre / sol</b>				<b>5,99E-01</b>	4,06E-02	<b>1,48E+01</b>
<b>banc / marbre</b>	13	1,23E-03	2,54E-01	<b>2,52E-01</b>	1,35E-02	<b>1,87E+01</b>
<b>cuve / banc</b>	130	0,03	2,00E-02	<b>1,95E+02</b>	1,67E-02	<b>1,17E+04</b>
<b>plaque / cuve</b>	13	1,50E-04	4,00E-02	<b>4,88E-02</b>	2,91E-03	<b>1,67E+01</b>
<b>support caméra / banc</b>	13	4,00E-04	2,58E-01	<b>2,02E-02</b>	1,00E-03	<b>2,02E+01</b>
<b>marbre peau inf / peau sup</b>	5,4	2,70E+00	3,05E-01	<b>4,78E+01</b>	2,70E+00	<b>1,77E+01</b>
<b>banc peau inf / peau sup</b>	5,4	1,08E+00	5,90E-02	<b>9,88E+01</b>	1,08E+00	<b>3,79E+01</b>



**Couplages convectifs :**

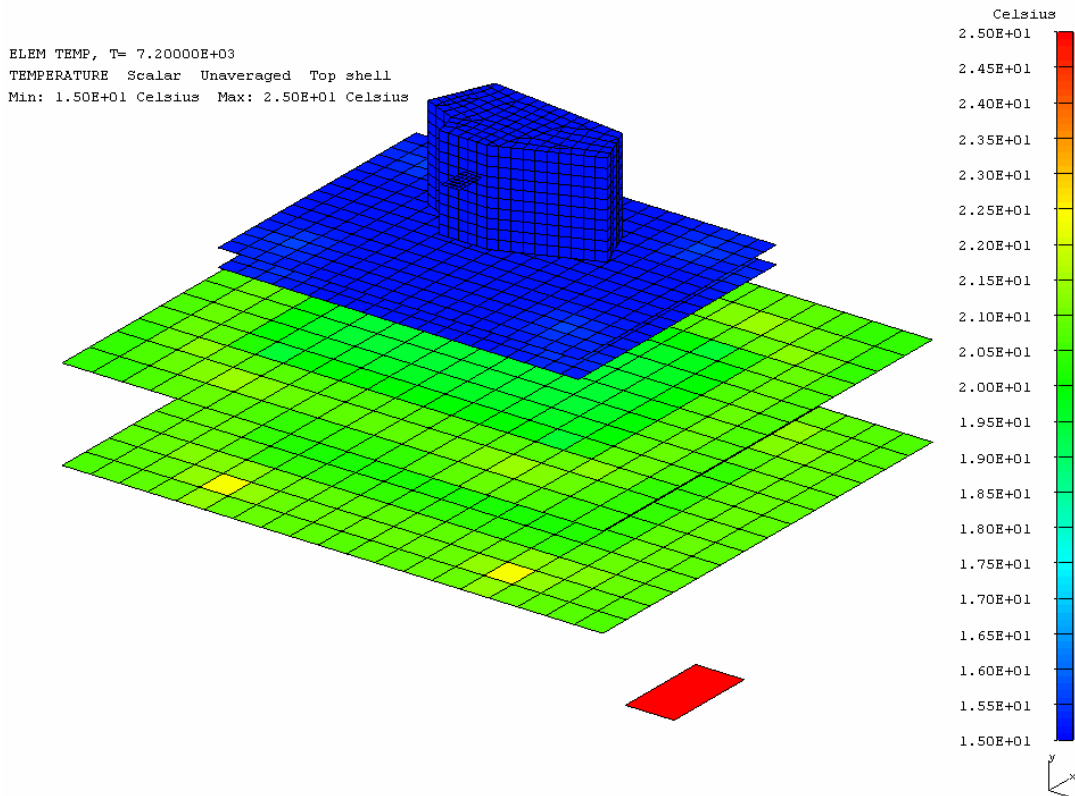
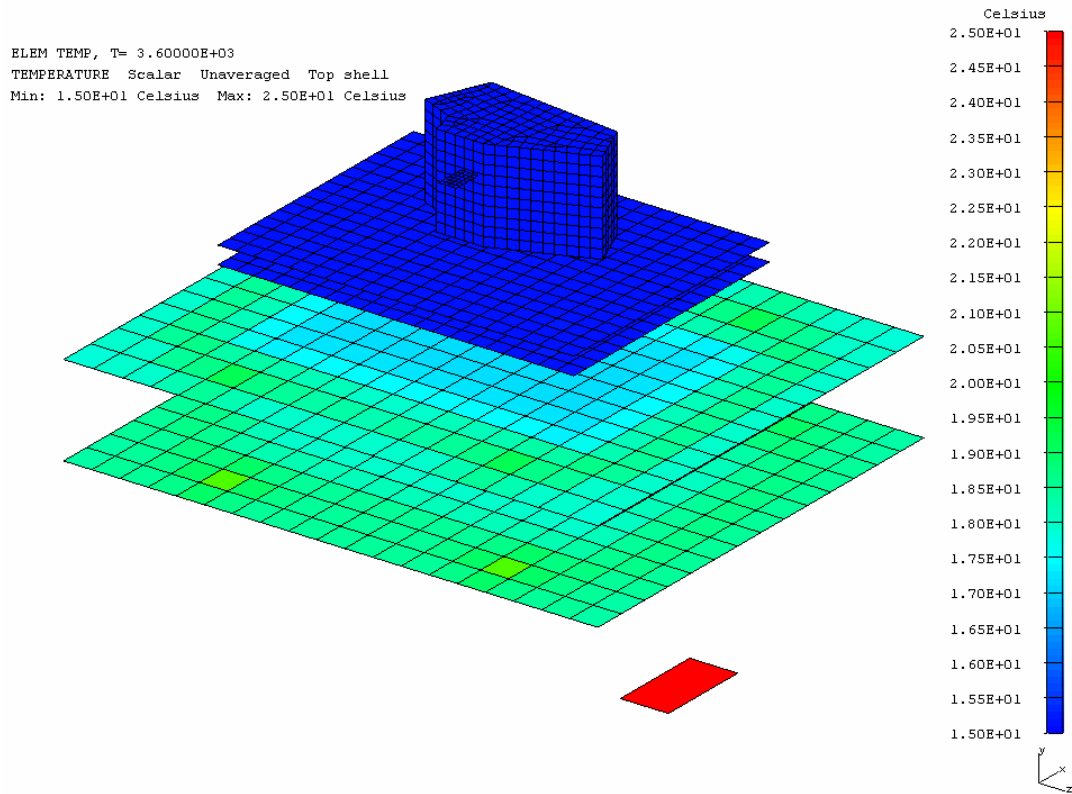
Seule la convection naturelle est prise en compte, avec une accélération de la pesanteur de  $9.81 \text{ m.s}^{-2}$  et à la pression atmosphérique  $P = 101325 \text{ Pa}$ .

Tous les éléments vus de l'extérieur sont concernés par la convection naturelle :

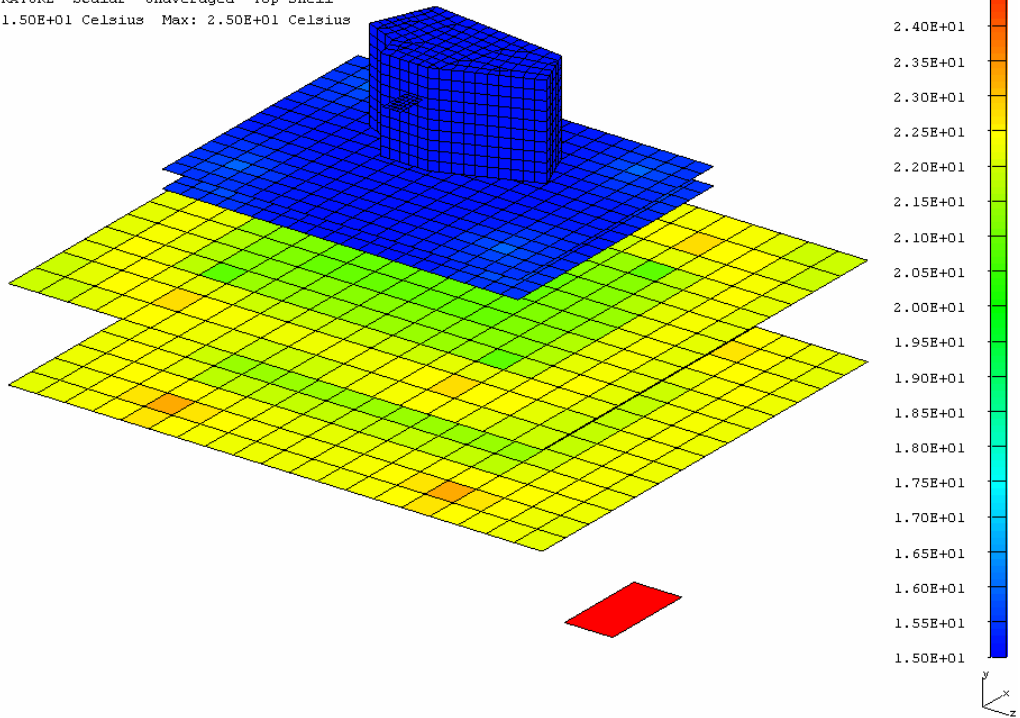


## ANNEXE C

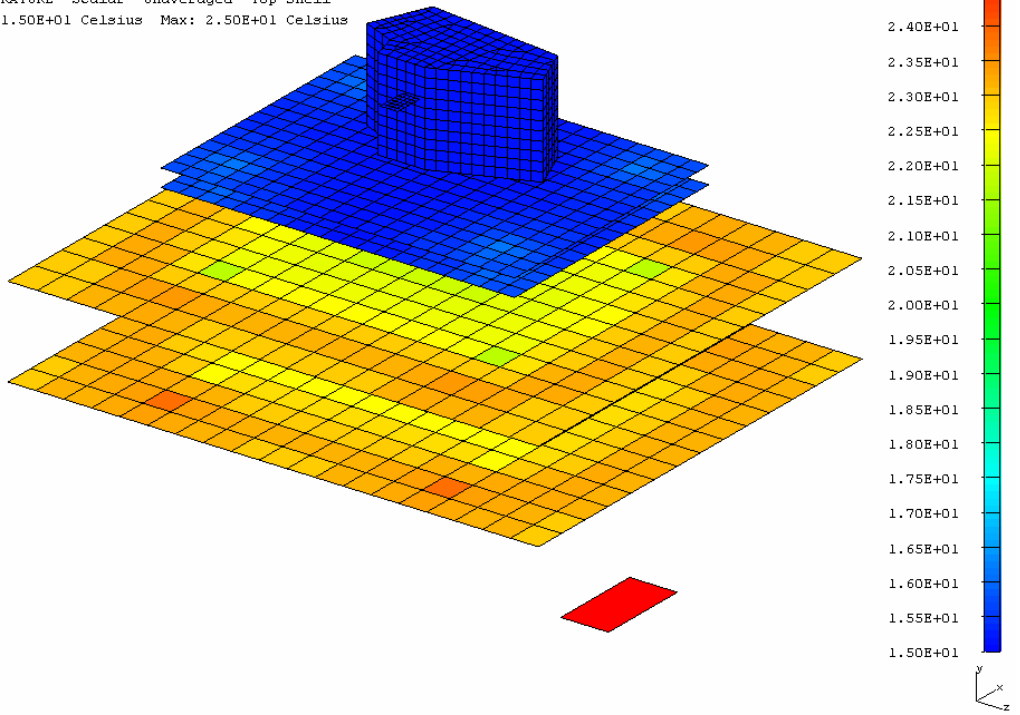
Cette annexe présente les champs de température toutes les heures sur l'ensemble de la géométrie, excepté sur le capot qui n'est pas affiché par souci de clarté.



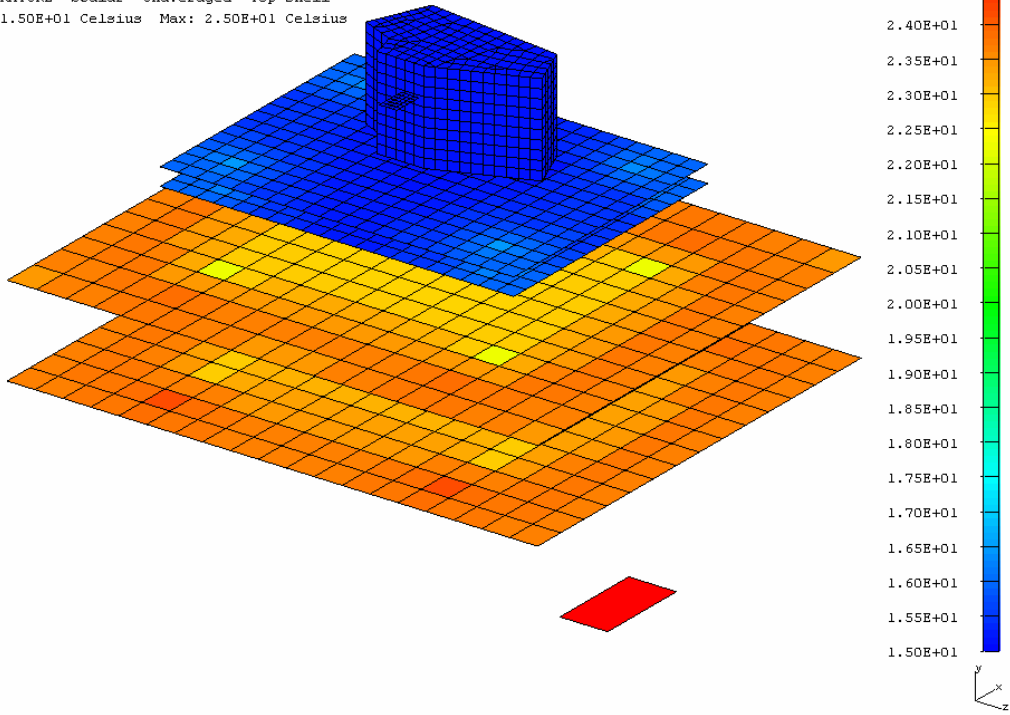
ELEM TEMP, T= 1.08000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



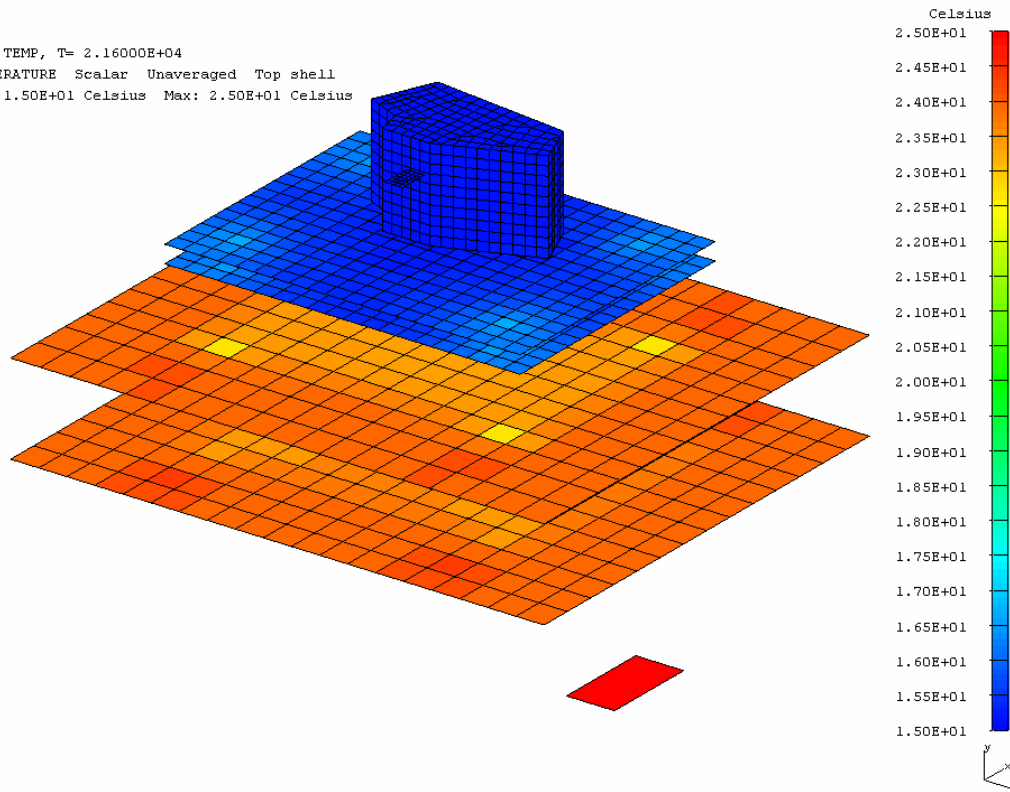
ELEM TEMP, T= 1.44000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



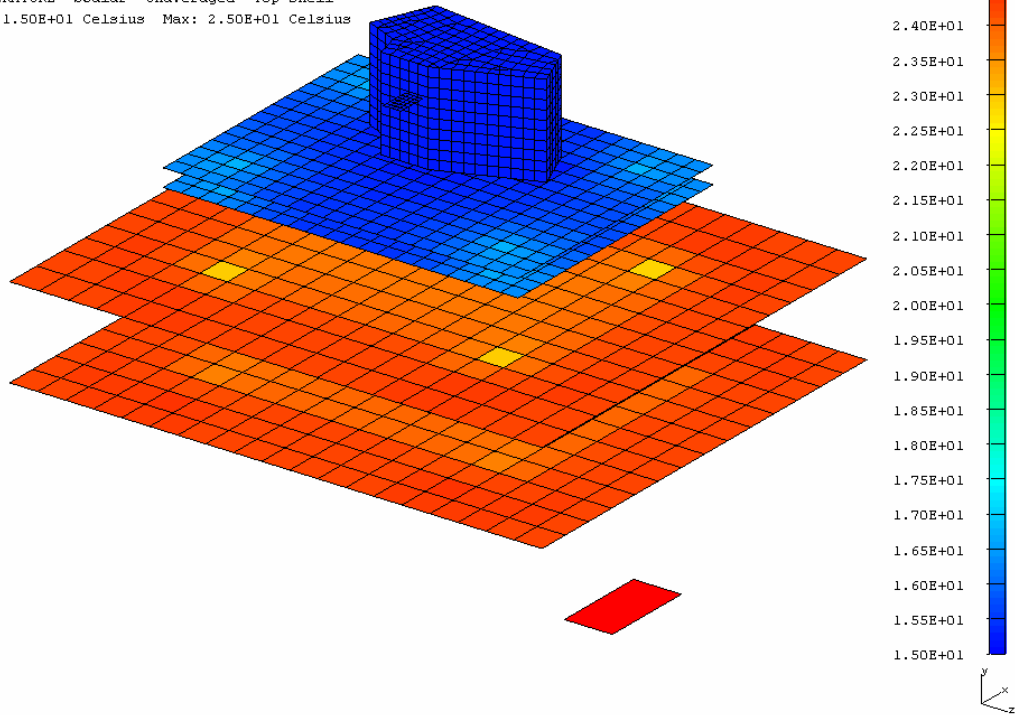
ELEM TEMP, T= 1.80000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



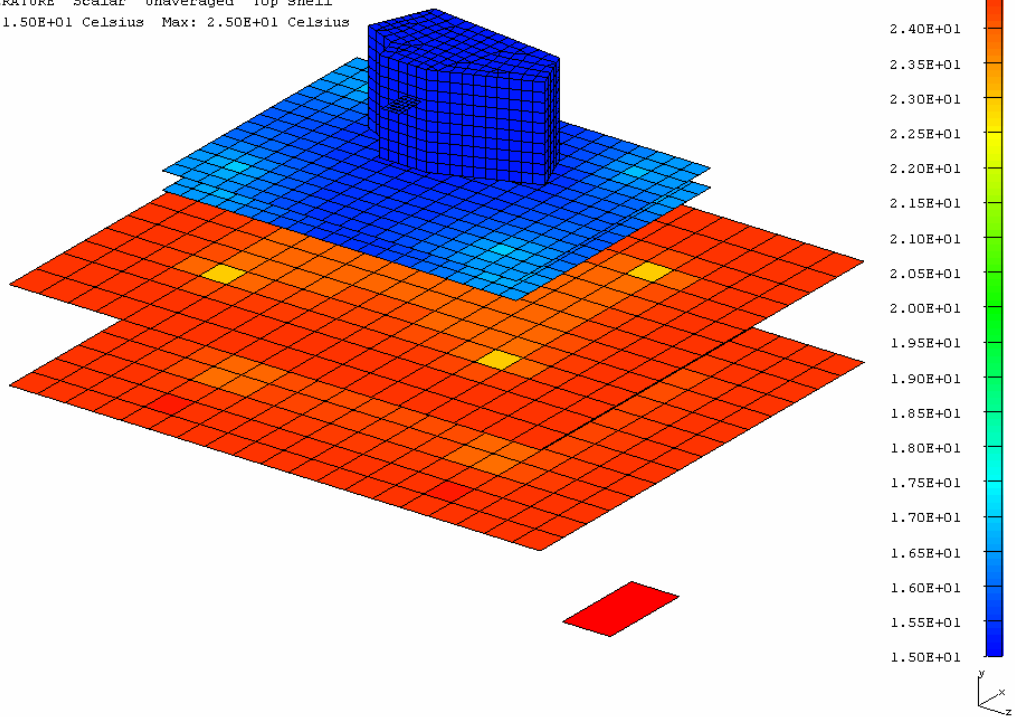
ELEM TEMP, T= 2.16000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



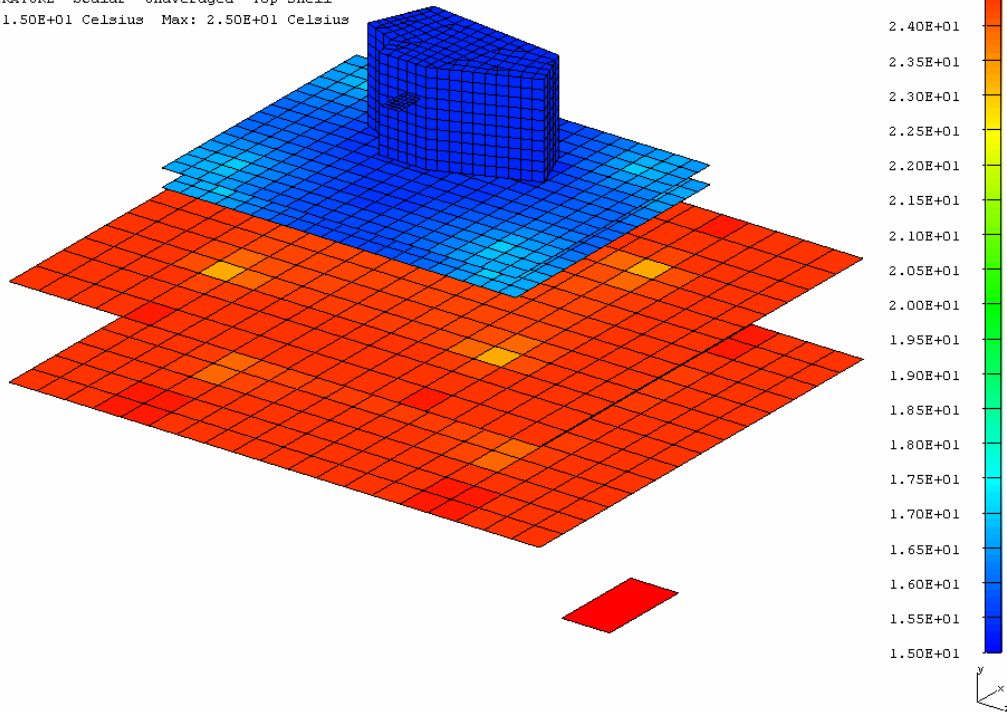
ELEM TEMP, T= 2.52000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



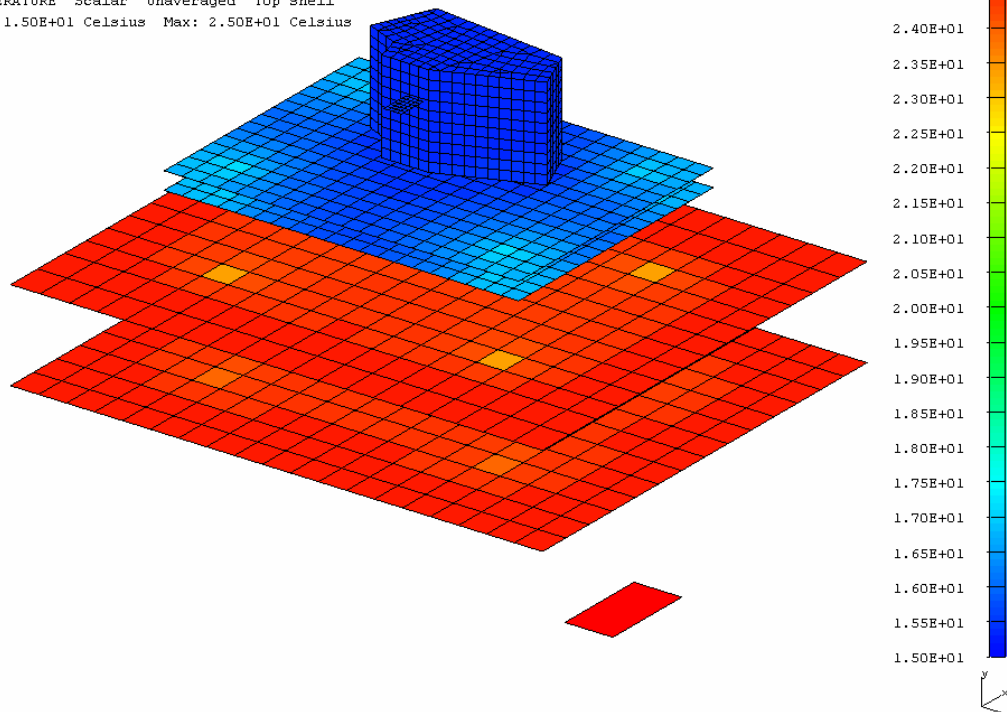
ELEM TEMP, T= 2.88000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



ELEM TEMP, T= 3.24000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



ELEM TEMP, T= 3.60000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius



ELEM TEMP, T= 3.96000E+04  
TEMPERATURE Scalar Unaveraged Top shell  
Min: 1.50E+01 Celsius Max: 2.50E+01 Celsius

