Centre National de la Recherche Scientifique

IN2P3

Ecole Polytechnique

Document Projet / Project Document

GLAST	TITLE	Ref :	GLAST-LLR-RP-017
		Issue :	A
		Date :	29/05/2002
		Page :	1

LAT-TD-00978-02

Report for the Finite Element Analysis of the GLAST Calorimeter Mechanical Structure DDL Consultants

This document is LLR property and cannot be reproduced or communicated without its authorization

CONSULTANTS

Destinataires :

GLAST

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Intitulé du document :

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE GLAST CALORIMETER MECHANICAL STRUCTURE

NOTE DE SYNTHESE

Références du document :

NS-102001-01 indice 01 du 29/05/02
Nombre de pages (y compris la page de garde): 72

PROJET

ANALYSE PAR ELEMENTS FINIS DE LA STRUCTURE MECANIQUE DU CALORIMETRE DE GLAST

DOCUMENT

NOTE DE SYNTHESE

Ind : 1 du 29/05/02

1°) AUTEURS				
Noms/Prénom	Société	Service	Date	Visa
GRUNEVALD Y.H	D.D.L. Consultants	Direction	29/05/02	
2°) CONTROLE				
Noms/Prénom	Société	Service	Date	Visa
CRESTE J-Y	D.D.L. Consultants	Qualité	29/05/02	

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

EVOLUTION DES INDICES

Ind.	Chap.	Pages	Date	Synthèse de l'évolution
0 1			29/04/02 29/05/02	Document initial Modification échelle des déformées (suppression des interférences graphiques) Amélioration de l'analyse modale Intégration du modèle équivalent

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

LISTE DE DIFFUSION
De la présente Edition

Noms	Société & Service	Nbre D'exemplaires	Date	Motif de diffusion			
				Action	Approb.	Attrib.	Inform.
Marc Anduze	L.L.R.	1	05/06/02		X	X	

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

SOMMAIRE

1°) INTRODUCTION - OBJECT OF THE PRESENT DOCUMENT: 6
2°) APPLICABLE STANDARDS AND DOCUMENTS: 6
2.1°) General Standards and Specifications: 6
2.2°) Applicable Documents: 6
2.3°) Documents Used for Information Purposes: 6
2.4°) Applicable Plans : 6
2.5°) System of Units: 7
3°) METHODOLOGY : 7
4°) MODEL DEFINITION : 8
5°) MATERIALS USED : 11
5.1°) Pre-Preg Material TEXIPREG CC205 ET441 : 11
5.2°) ALUMINUM ALLOY 2618A : 11
5.3°) ALUMINUM ALLOY 5754 : 12
5.4°) ALUMINUM ALLOY 2017 A (MODELING OF INSERT) : 12
5.5°) POLYIMIDE /GLASS 85N : 12
6°) STACKINGS: 13
7°) LIMITING CONDITIONS : 16
8°) RESULTS : 19
8.1°) Quasi-Static Analysis: 20
12 G Along X-Axis: 20
12 G Along Y-Axis: 25
12 G Along Z-Axis: 29
7.5 G Along X et Y, 8.5G suivant Z : 31
8.2°) Thermomechanical Analysis : 36
Diminution de la température de 65°C : 36
8.2.2°) Elévation de la température de 30°C : 42
8.3°) Modal Analysis : 47
9°) MODELE EQUIVALENT : 60
10°) CONCLUSIONS 63
ANNEXE 01 66
ANNEXE 02 69

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

1°) INTRODUCTION - OBJECT OF THE PRESENT DOCUMENT:

This note of synthesis reference NS-102001-01 ind01 summarizes the whole of the work completed within the framework of your command n° L 06742/434374 "Analyzes numerical mechanical structure of the calorimeter of following GLAST propo. Pro-1021001-01 ind 01 and satellite simplified equivalent model ".

The goal of this study is to determine the total behavior of the structure of a module equipped with the calorimeter in various configurations with quasi-static loading (accelerations, thermomechanical loadings) like these first Eigen frequencies then to determine a simplified equivalent model being able to be integrated in the complete satellite model.

2°) APPLICABLE STANDARDS AND DOCUMENTS:

2.1°) General Standards and Specifications:

- Sans Objet.

2.2°) Applicable Documents:

- « Spécifications pour l'analyse mécanique de la structure du calorimètre de GLAST » référence LLR-GLAST-E-xxx-b1 indice 1 du 11/02/02.

2.3°) Documents Used for Information Purposes:

- Documentation SAMCEF dans sa version 8.1. et sa version 9.1
- Documentation CATIA dans sa version 4.21.

2.4°) Applicable Plans:

All of the Catia models are provided, which define the geometry of the various components of the calorimeter:

- CADRE.
- CADRE_ELASTOMER.
- CADRE_PLASTIC.

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

- CAPOT_LATERAL_1.
- CIRCUIT.
- CIRCUIT2.
- CRISTAL.
- INSERTS_INFERIEURS.
- INSERTS_LATERAUX.
- INSERTS_SUPERIEURS.
- PLAQUE_DE_FERMETURE.
- PLAQUE_INFERIEURE.
- STRUCTURE_COMPOSITE_V2.

2.5°) System of Units:

In all the documents, we will use a coherent system of units with the system IF but more adapted to our needs. This system is based on the millimetre, the ton, the second and newton. The reader will find in Appendix 01 at the end of the this report/ratio a whole of tables specifying the principal units used and the associated conversion factors.

3°) METHODOLOGY :

Methodology used to deal with this problem is as follows:

- Definition of the total model starting from the various Catia models of the composite structure and its equipment while trying to limit the size of the model (a number of degrees of freedom of freedom) while ensuring a coherent total answer.
- Definition of the various calculation cases:
- Quasi-Static Analysis:
  - 12 G Along X-Axis
  - 12 G Along Y-Axis
  - 12 G Along Z-Axis

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

- 7.5 G Along X-Axis, 7.5 G Along Y-Axis, 8.5 G Along Z-Axis

♦ Thermo-mechanical Analysis :

- Reduction in the temperature of 65°C (Cooling +20°C down to –45°C)
- Rise in the temperature of 30°C (Heating +20°C up to + 50°C)

♦ Modal Analysis :

- Search of the first 10 Eigen-frequencies in free-free mode.

♦ Definition of a "satellite" model having a reduced number of ddl.

♦ Conclusions.

4°) MODEL DEFINITION:

Since we study a total answer, the approach is based on the realization of a relatively simplified digital model in order to reduce development and processing time. The model will be developed and processed using the SAMCEF software (version 8). The Catia model of the complete structure is used only as dimensional and conceptual reference.

♦ The composite structure is modeled using multi-layer thin hulls (type 56, in the library the SAMCEF software). The cells are regarded as perfectly rectangular (the interior radius of 0,4 mm is not accounted). The elements will be placed on the neutral fiber level "structural" (cf diagram n°1 of Appendix 02). The model accounts for the real lay-out of each zone by breaking up fabrics into elementary UD and integrating reduced properties related to weaving. The structure is regarded as monobloc, without accounting for interface defects.

♦ The close-out panels are modeled using thin hulls (type 56) with the neutral fiber level on the greatest surface. The local extra thickness of the edges will be regarded as symmetrical compared to this surface. The other extra thickness will not be accounted. This will make it possible to have a simple model, which is slightly optimistic in term of local stiffnesses (the area of the elastic centers are located in the average layer, which is not completely the case) but slightly pessimistic in term of total stiffness since certain small extra thickness are neglected. On the other hand, in all the cases, the influence of these elements on the total stiffness can be regarded as negligible, which is most significant.

♦ The electronic cards are modeled using thin hulls (type 56) with the neutral fiber level on the support polyimide-glass 85N. The material is regarded as homogeneous and isotropic. This model makes it possible, thereafter, to integrate the following evolutions (variable surface masses according to the zones and thus of the electronics components brought back on the variable plates, surface temperatures, …)

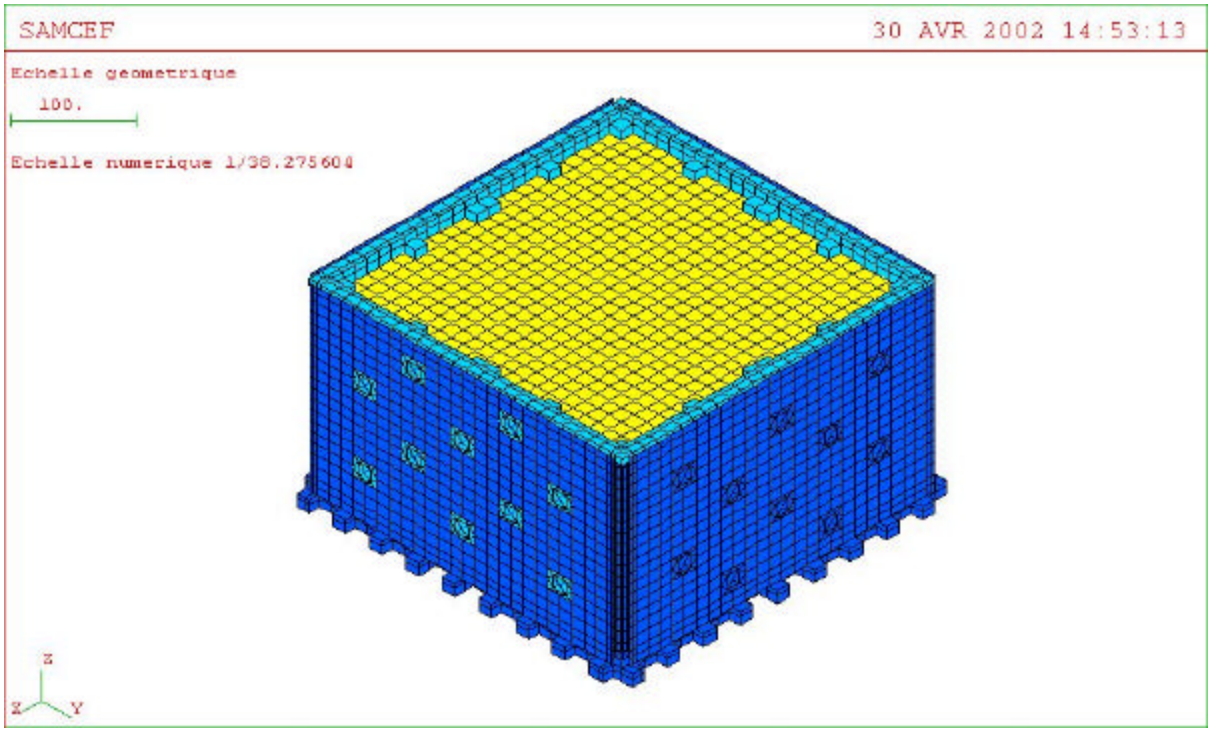
Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

- the external side panels are also modeled as thin hulls.
- The cesium bars "directly" will not be modelled. In order to take into account their influence, we will add on the four faces of each cell a fold to 0° and a fold to 90° of a carbone/époxy thickness 0.05 mm readjusted in density so that this stacking has the same mass as the 1/4 of corresponding cesium bar.

In the case of requests transverse (by ex 12G on X), We will model the effort of the bar on the cover plate using a force applied (by ex 12*9.81*masse_barreau) at the end of a beam of beams and taken again on the plate (cf diagram n°2 of Appendix 02).

- The lower plate will be modelled using volumes by simplifying its geometry on the levels of the following zones:
  - We will regard the lower inserts as perfectly embedded in the lower plate and immobilized on Z by means of the screws, we will thus have a common interface of approximately 10 mm of with dimensions between the voluminal model of the plate lower and the composite model thin hull of body of the calorimeter than the right of each insert (cf diagram n°3 of Appendix 02) representing the local embedding of the composite zone on the lower plate.
  - the grid will be minimal in term of a number of meshs but will make it possible to respect the various plans (basic Plan, plane P1, P2, P3 on the diagram n°3 of Appendix 02) by ensuring a good description of the total stiffness. The veins connecting two studs will be in hulls thin and readjusted in transverse stiffnesses (Iy and Iz buildings). The mass of the plate will be readjusted compared to the Catia model of the real structure on the basis of the principle which the inserts and the screws make party of the lower plate.
- The principle of modeling of the higher plate will be identical to that of the lower plate.
- The posts will be modelled in thin hulls in the form of a square integrated in the cover plates (solution identical to the conceptual solution adopted into final).

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



Modèle éléments finis– Vue générale

5°) MATERIALS USED:

5.1°) Pre -Preg Material TEXIPREG CC205 ET441 :

Chaque tissus sera décomposé en 2 UD élémentaires dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci dessous.

Nous considérerons un stratifié ayant un taux volumique de renfort de à 60% et un taux de porosité de 1%, ce qui représente la valeur minimale envisageable. Il est probable que cette valeur soit plus importante au niveau des cloisons des cellules compte tenu du process retenu.

TEXIPREG CC205 ET441 (SEAL) - Fibre Carbone HS 3K, Résine Epoxyde ET441			
YT	138000 MPa	8400 MPa	8400 MPa
G	5300 MPa	5300 MPa	5300 MPa
XT	2880 MPa	51 MPa	51 MPa
XC	2795 MPa	312 MPa	312 MPa
RST	86 MPa	86 MPa	86 MPa
NU	0,35	0,35	0,35
A	4,19E-07 °C-1	5,26E-05 °C-1	5,26E-05 °C-1
M	1 560E-12 t/mm3		

Caractéristiques mécaniques d'un UD équivalent

5.2°) ALUMINUM ALLOY 2618A :

Les caractéristiques mécaniques sont les suivantes :

Alliage d'Aluminium 2618A (A-U3GN)			
YT	74000 MPa	74000 MPa	74000 MPa
G	27820 MPa	27820 MPa	27820 MPa
XT	440 MPa	440 MPa	440 MPa
XC	440 MPa	440 MPa	440 MPa
RST	220 MPa	220 MPa	220 MPa
NU	0,33	0,33	0,33
A	2,23E-05 °C-1	2,23E-05 °C-1	2,23E-05 °C-1
M	2 760E-12 t/mm3		

Caractéristiques mécaniques

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

5.3°) ALUMINUM ALLOY 5754 :

Alliage d'Aluminium 5754 (A-G3M)			
YT	70000 MPa	70000 MPa	70000 MPa
G	26316 MPa	26316 MPa	26316 MPa
XT	220 MPa	220 MPa	220 MPa
XC	220 MPa	220 MPa	220 MPa
RST	110 MPa	110 MPa	110 MPa
NU	0,33	0,33	0,33
A	2,38E-05 °C-1	2,38E-05 °C-1	2,38E-05 °C-1
M	2 670E-12 t/mm3		

Caractéristiques mécaniques

5.4°) ALUMINUM ALLOY 2017 A (MODELING OF INSERTS) :

Les inserts seront modélisés à l'aide de poutre de diamètre 6 ayant les caractéristiques suivantes :

Alliage d'Aluminium 2017A (A-U4G)	
YT	72400 MPa
NU	0,33
M	2 790E+00 t/mm3

Caractéristiques mécaniques

5.5°) POLYIMIDE /GLASS 85N :

Polyimide/Verre 85N (ARLON)			
YT	22000 MPa	22000 MPa	22000 MPa
G	8500 MPa	8500 MPa	8500 MPa
XT	89 MPa	89 MPa	50 MPa
XC	222 MPa	222 MPa	300 MPa
RST	78 MPa	78 MPa	78 MPa
NU	0,20	0,20	0,20
A	1,20E-05 °C-1	1,20E-05 °C-1	1,20E-05 °C-1
M	1 700E-12 t/mm3		

Caractéristiques mécaniques

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

6°) STACKINGS:

On notera UDC_0 un pli élémentaire d'épaisseur 0.075mm de carbone/époxy, le nombre associé correspond à l'angle du pli avec le 0° du lamifié. UDC* désignera un pli de carbone époxy d'épaisseur 0.05mm, ayant une masse volumique recalée pour prendre en compte ¼ de la masse des barreaux de Césium.

Les empilements correspondants sont les suivants :

Structure composite :

Renfort latéraux (lamifié 1), ep 2.05mm :

UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC*_0 / UDC*_90

Toiles verticales intérieures (lamifié 2) , ep 0.65mm :

UDC*_0 / UDC*_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC*_0 / UDC*_90

Renfort inférieure (lamifié 3), ep 4.45mm :

UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90/ UDC_-45 / UDC_45 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90/ UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0/ UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ 0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90/ UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC*_0 / UDC*_90

Toiles horizontales intérieures (lamifié 4), ep 1.1mm :

UDC*_0 / UDC*_90 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC*_0 / UDC*_90

Renfort supérieur (lamifié 5), ep 2.5mm :

UDC*_0 / UDC*_90 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45 / UDC_-45 / UDC_45 / UDC_0 / UDC_90 / UDC_ -45 / UDC_45

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

Plaques supérieures et inférieures (lamifié 11) :
1 pli d'Alliage d'aluminium 2618A.

Plaques de fermeture (lamifié 21), ep 1mm :
1 pli d'Alliage d'aluminium 2618A.

Circuits imprimés (lamifié 31), ep 1.6 mm :
1 pli de Polyimide/verre 85N.

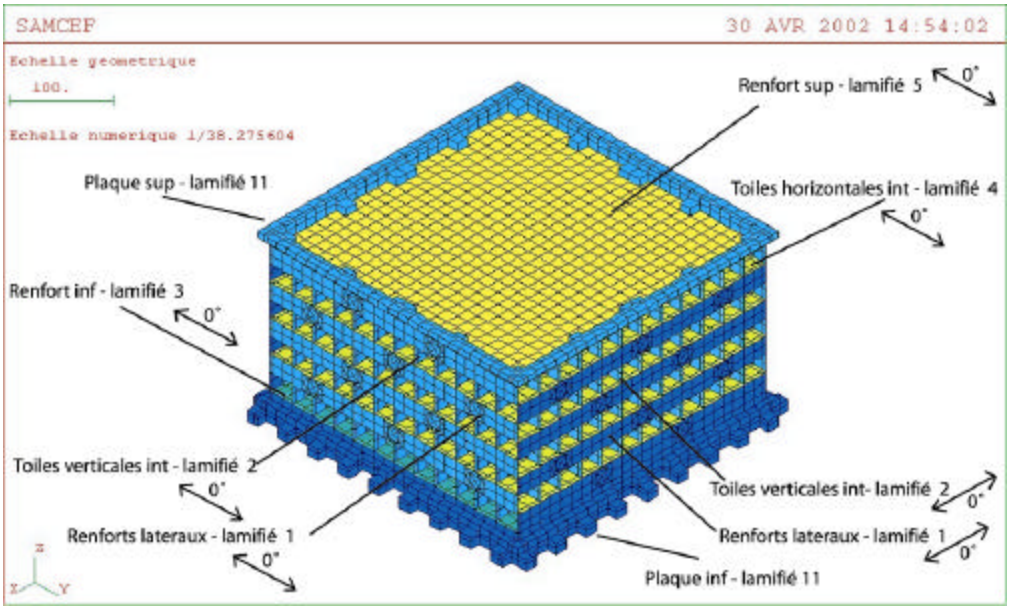
Panneaux latéraux (lamifié 41), ep 0.8 mm :
1 pli d'Alliage d'aluminium 5754.

Poutres pour poussée des barreaux de Césium (lamifié 101) :
Poutres de raideur infinie sans masse.

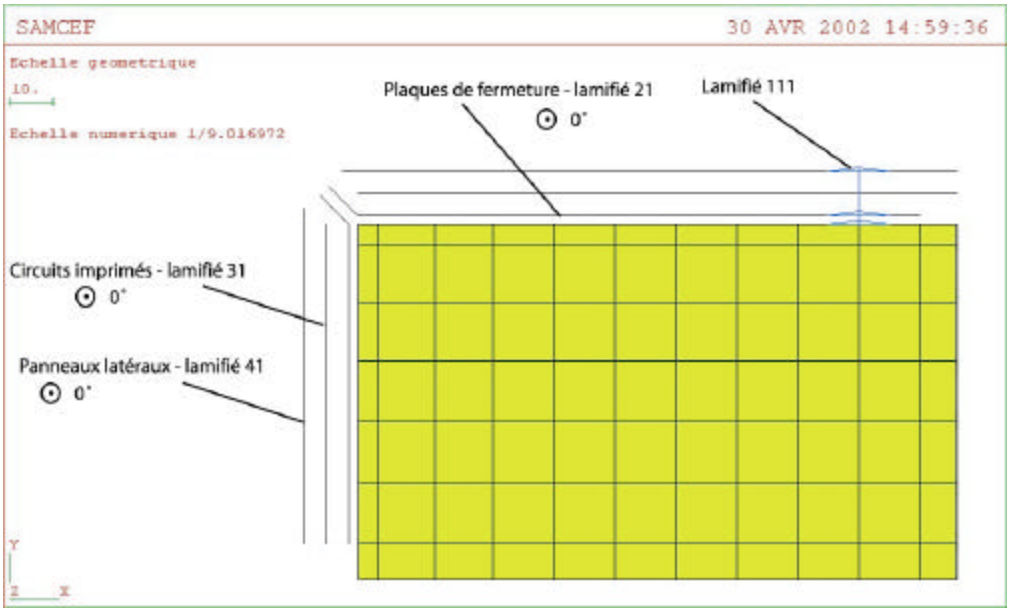
Inserts latéraux (lamifié 111) :
Poutres de rayon 3mm en alliage d'aluminium 2017A.

Les dessins, page suivante, indiquent la position des différents lamifiés ainsi que leur orientation.

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



Modèle par éléments finis – Structure composite + plaques inf et sup



Modèle par éléments finis – Vue de dessus (sans les plaques inf et sup)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

7°) LIMITING CONDITIONS:

Les dessins, pages suivantes, illustrent les fixations appliquées au modèle (en rouge) ainsi que les liaisons (en bleu).

Fixations :

- For the Static Test:
  In term of total conditions, the lower plate will be regarded as dependent, on the level of the 36 mounting feet on the grid structural of the satellite considered as infinitely rigid. The connection being realized by 2 screws each time, we will block in translation (TX, TY and TZ) the points mediums of each side side of each mounting foot (cf diagram n°03 of Appendix 02).

- For the Thermo-Mechanical Test:
  The lower face of the lower plate will be regarded as immobilized on Z on the whole of the nœuds.
  To avoid the other possible translations, we will block on TX the nœuds plate located in the X=0 plan and on TY the nœuds located in the plan Y=0. These conditions make it possible to block X-ray, RY and RZ.

- For the Modal Analysis:
  The study being into free-free, no fixing will be applied.

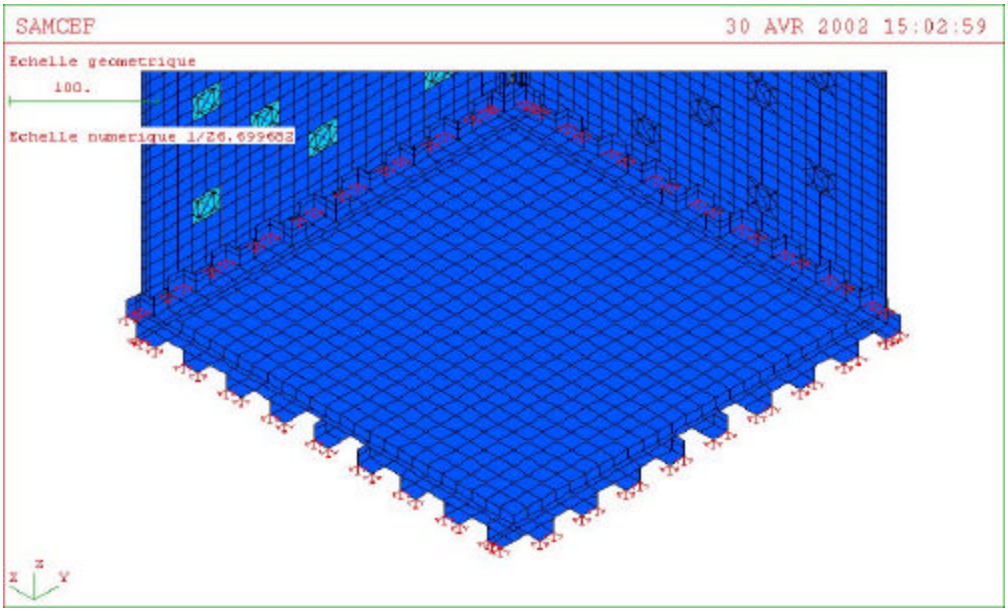
Connections:

In all the cases, in term of local conditions, we will take the following elements in account:

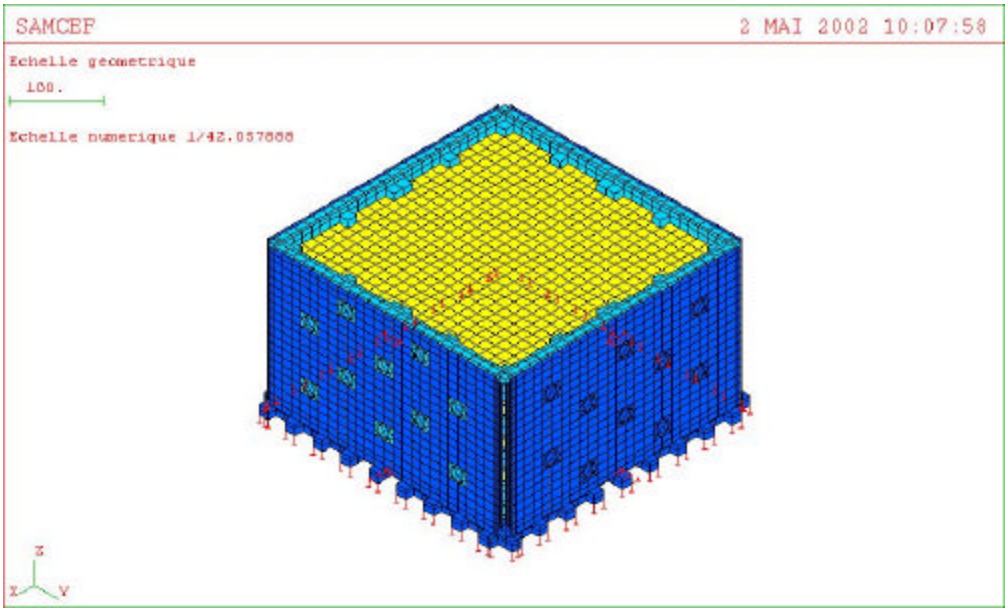
- Half posts integrated in the panels of closing are regarded as punctually related on the lower plate and the higher plate (connections nœud with nœud). The colonnettes/panneaux connections side will be carried out by connections nœuds with nœuds (LIA) This approach creates a light local on-stiffness but in our case, the distance between the average layer post and the average layer panels is very weak, this error is thus very weak. On the other hand, the model is pessimistic in mechanical term of behaviour.

- The connections screwed between the various elements will be snuff in account using beams of beams (cf diagram n°4 of Appendix 02) making it possible to simulate the supports of the inserts on the composite and the total stiffness of the insert unit, centring device, screw. No taking into account of prestressed is envisaged on this level of modeling. The connection with the various external elements (panels of closing, cards electronic, side panels) will be considered perfect sum (no plays ss with any possible local translation).

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

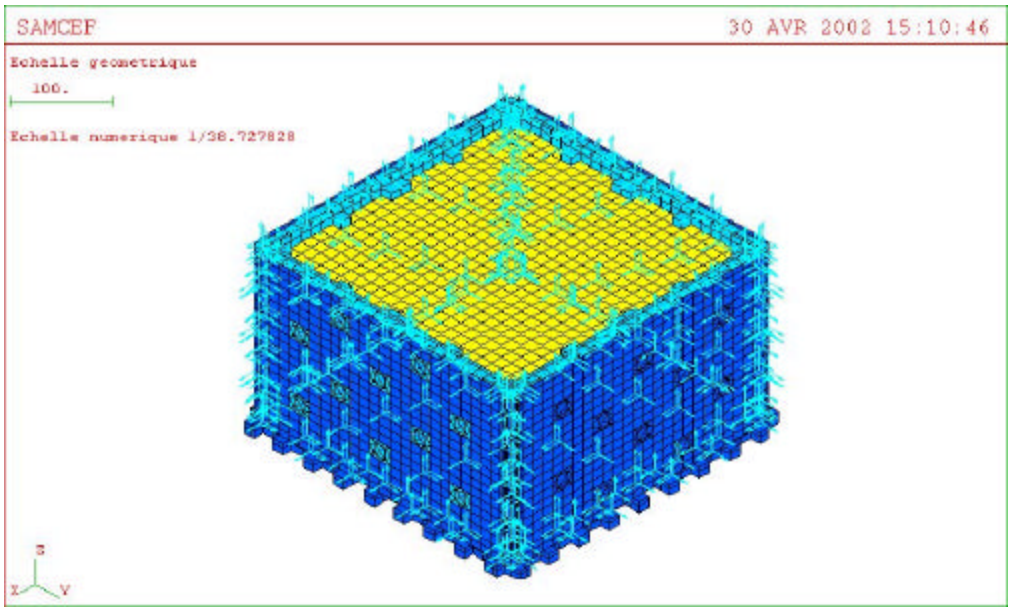


Fixations pour les modélisations quasi-statiques

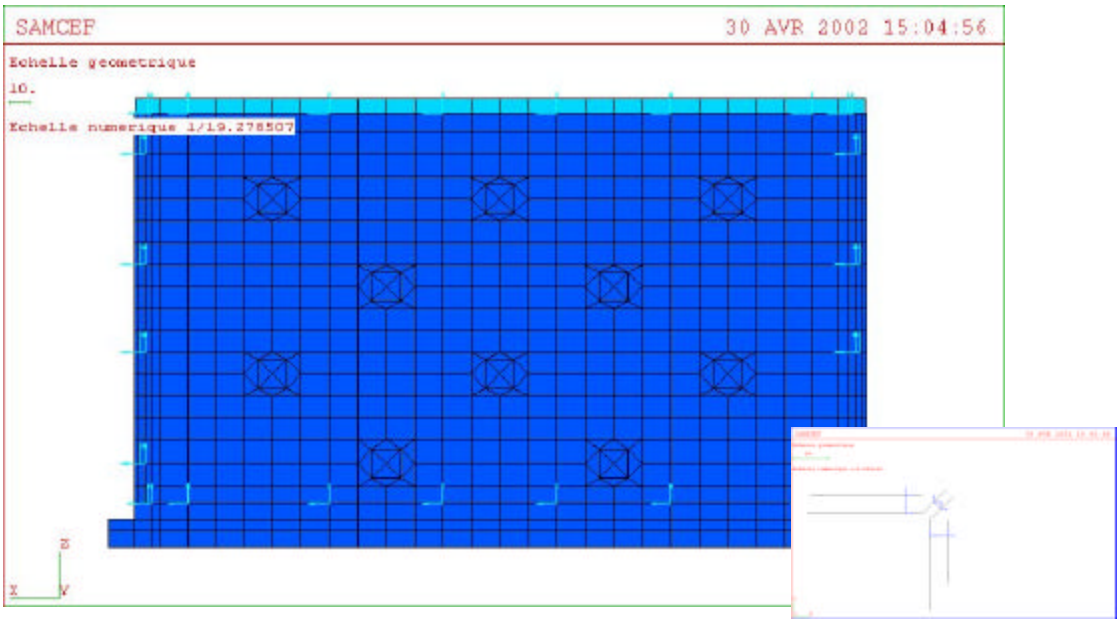


Fixations pour les modélisations thermo-mécaniques

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

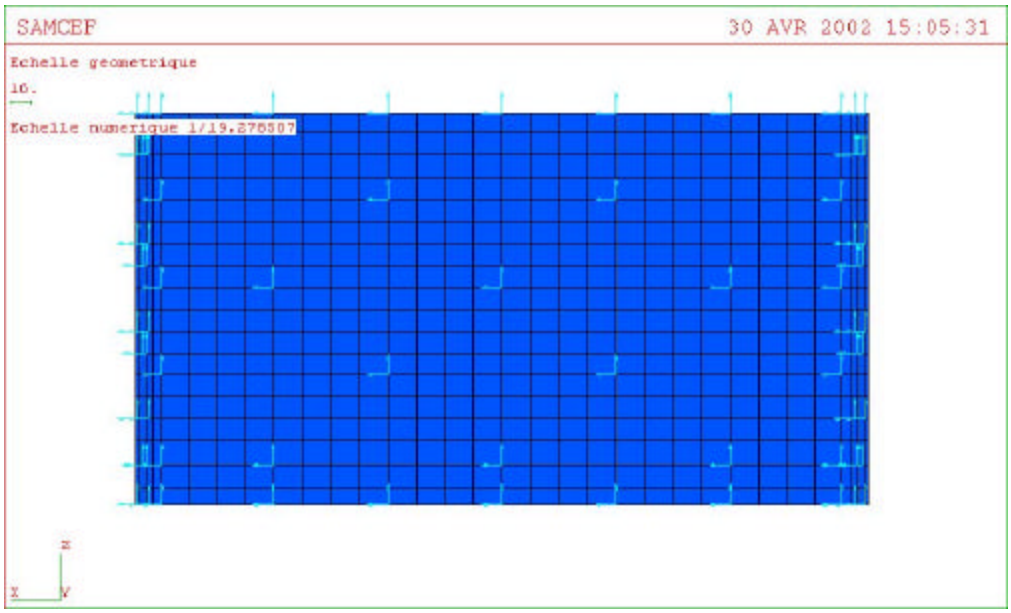


Ensemble des liaisons

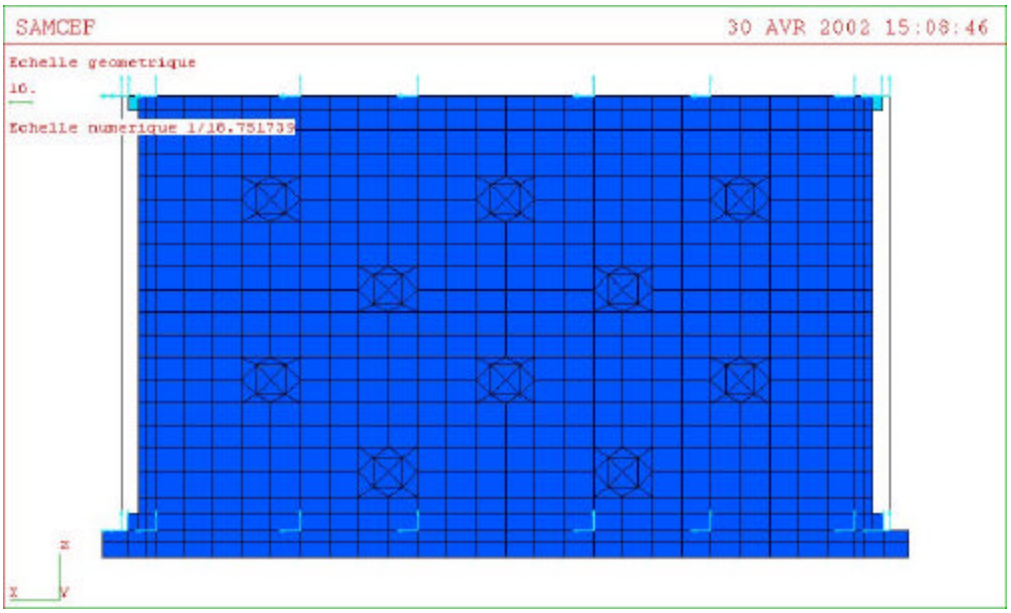


Liaisons Plaques de fermeture / plaques sup et inf + Liaisons ½ colonnettes

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



Liaisons plaques de fermeture / plaques des circuits imprimés + Liaisons colonnettes



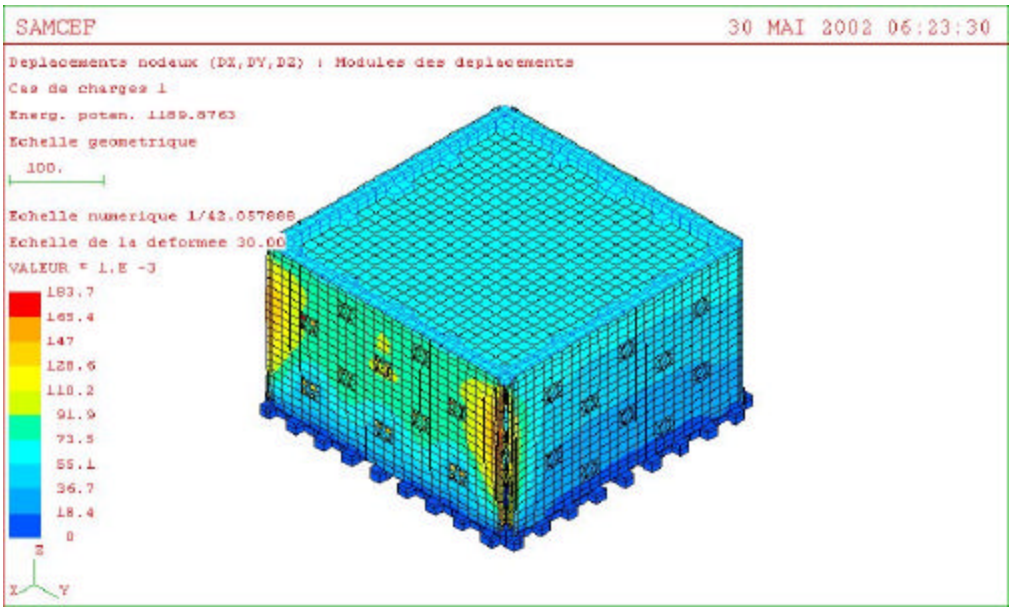
Liaisons panneaux latéraux / plaques sup et inf et plaques de fermeture (niveau colonnettes)

8°) RESULTATS OBTENUS :

Les images ci-dessous illustrent les déformées ainsi que les marges de Tsaï obtenues pour les différents calculs.

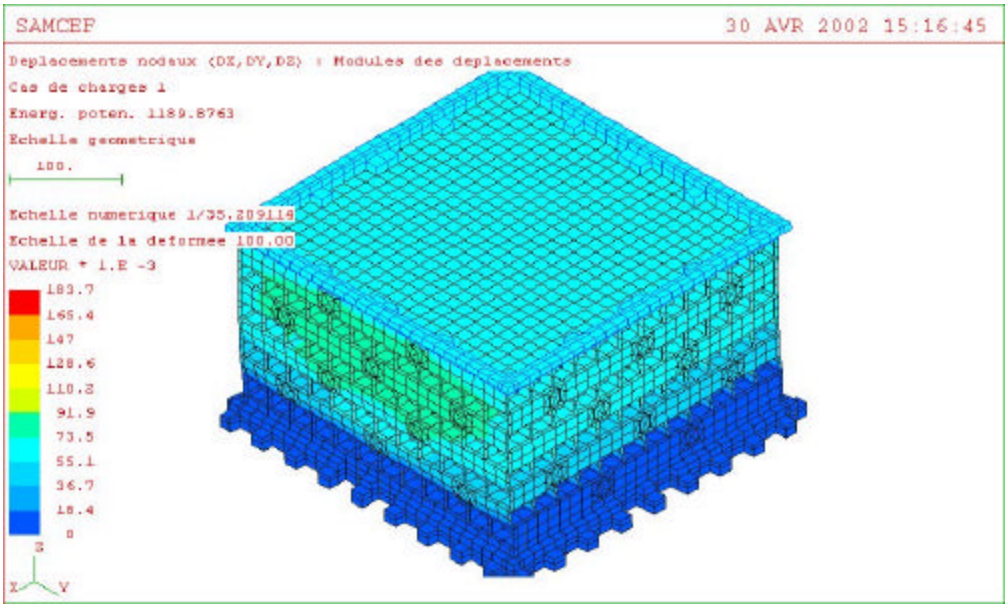
8.1°) Quasi-Static Analysis:

8.1.1°) 12 G Along X-Axis :

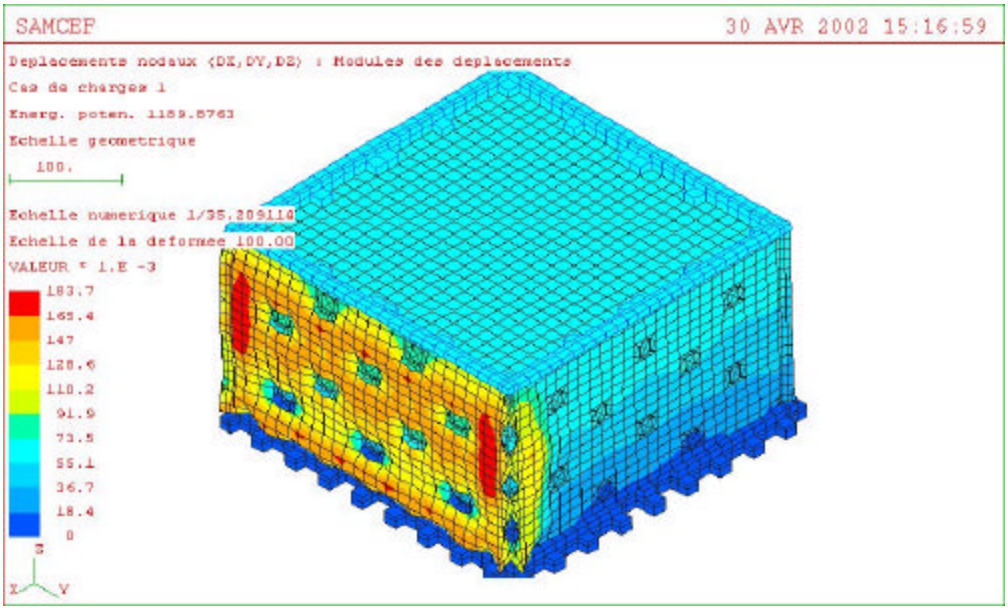


Modèle complet - Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

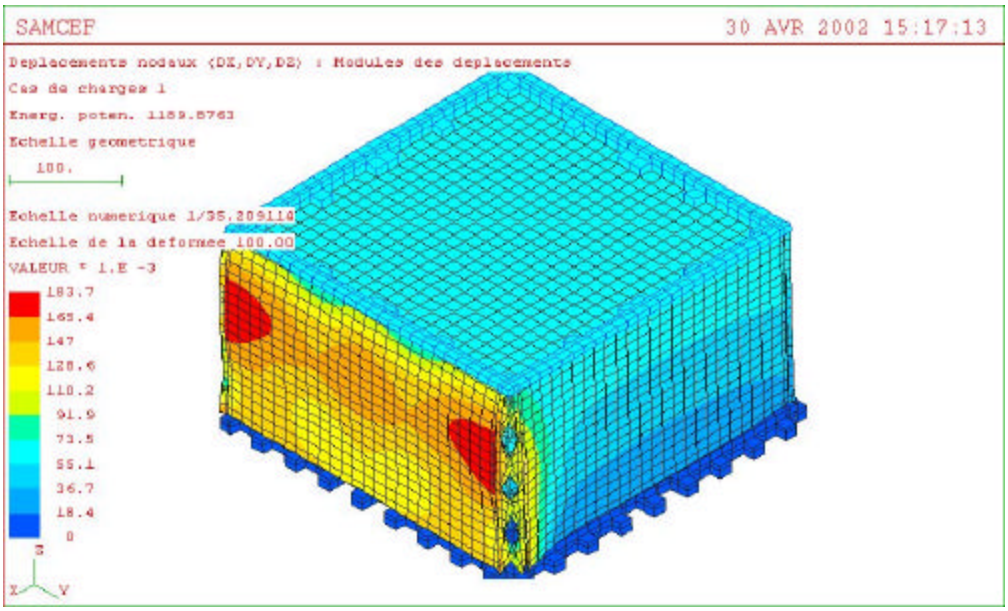


Structure composite + plaques sup et inf – Module des déplacements

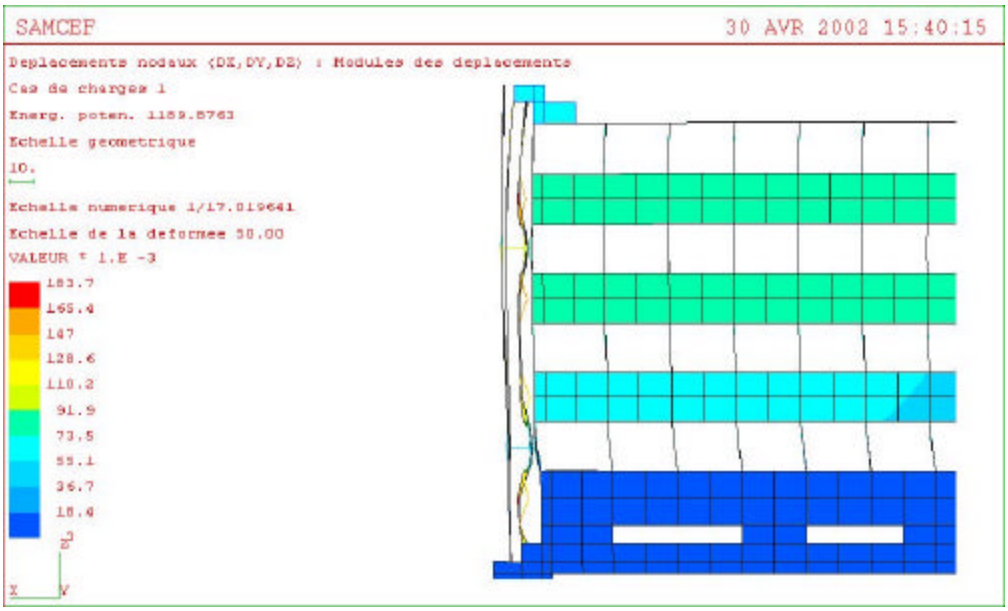


Idem précédent + Plaque de fermeture– Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

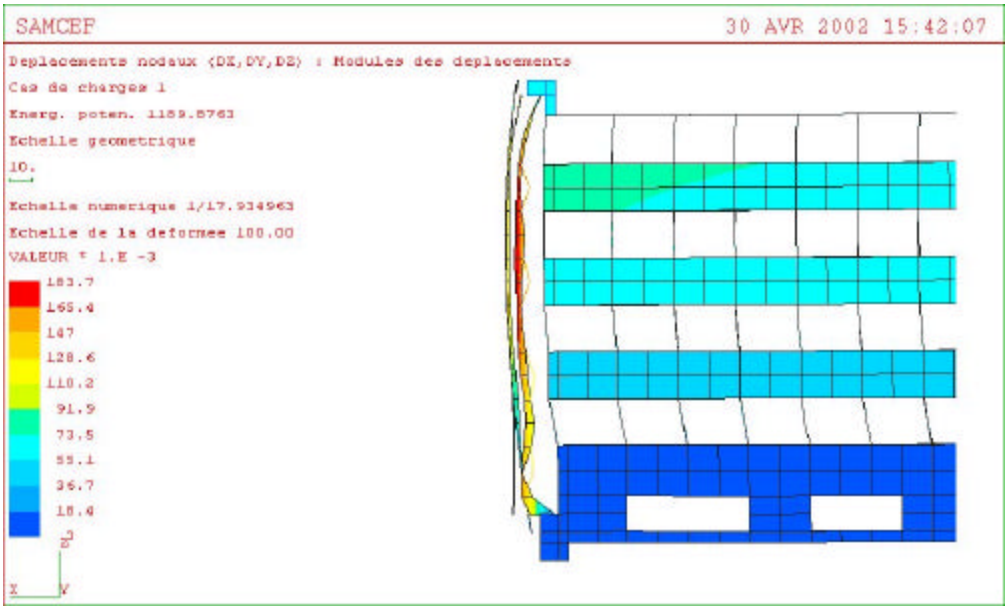


Idem précédent + circuits imprimés – Module des déplacements

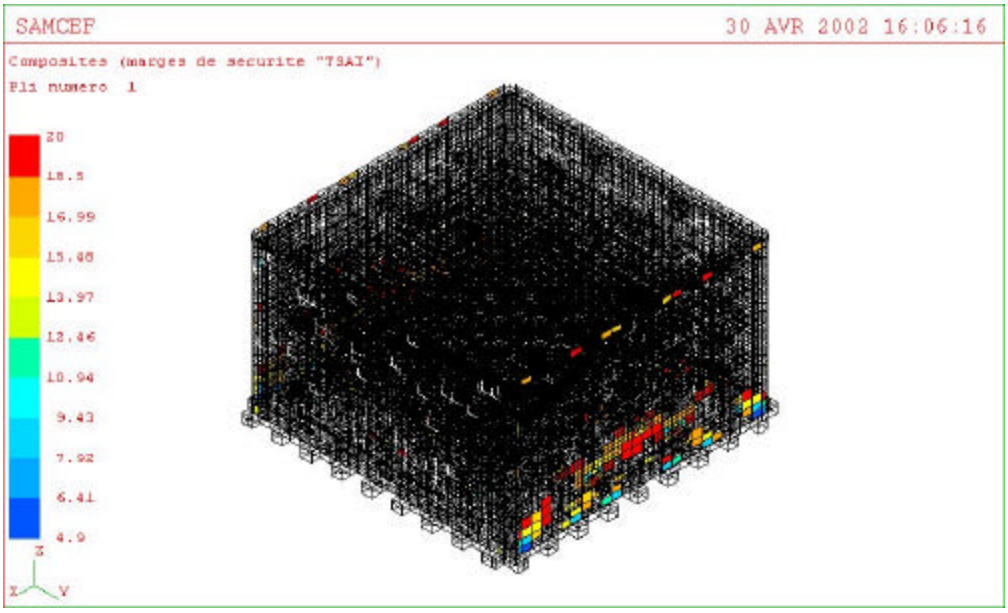


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant x)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

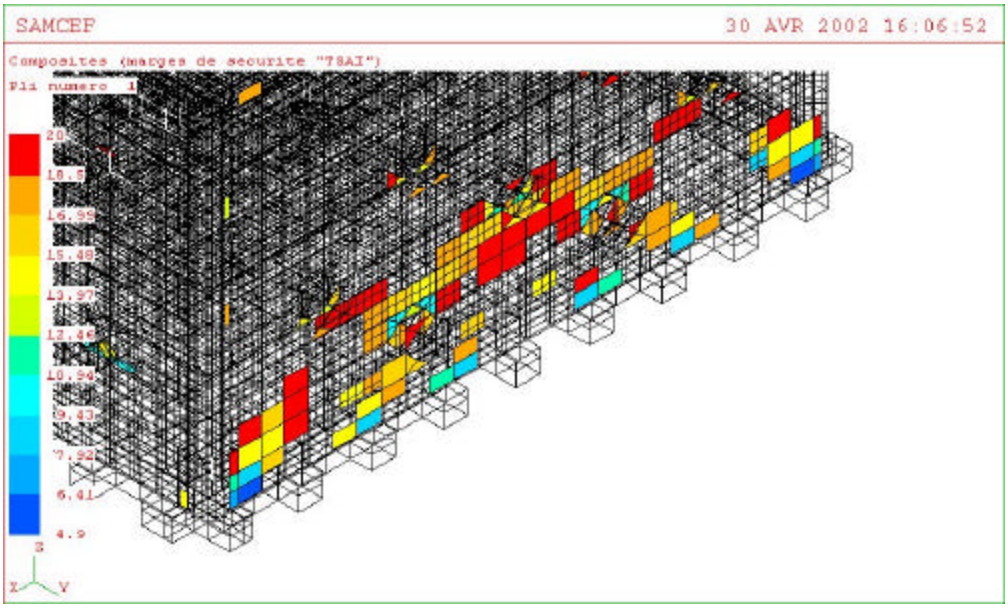


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant x – déformée max)



Margins of lower TSAI has 20

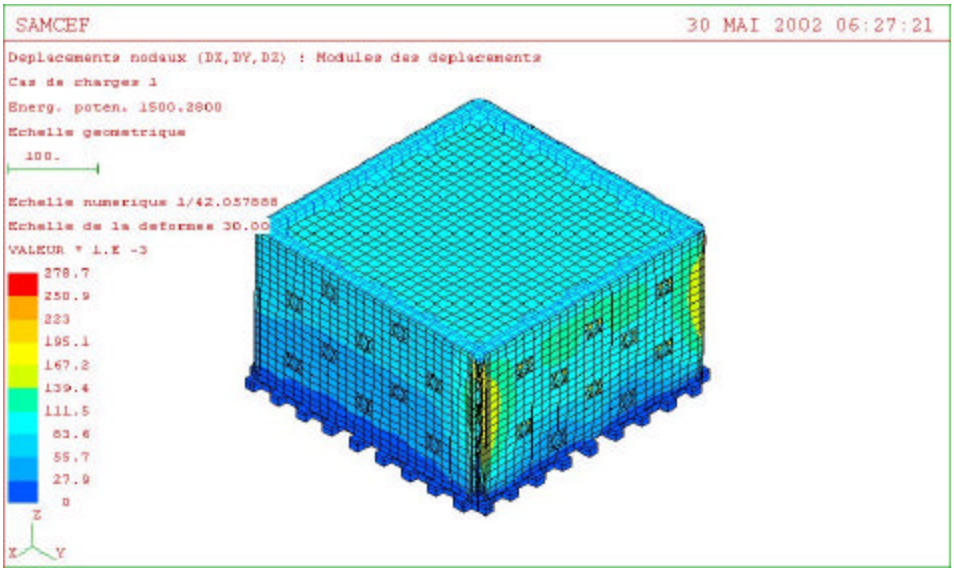
Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



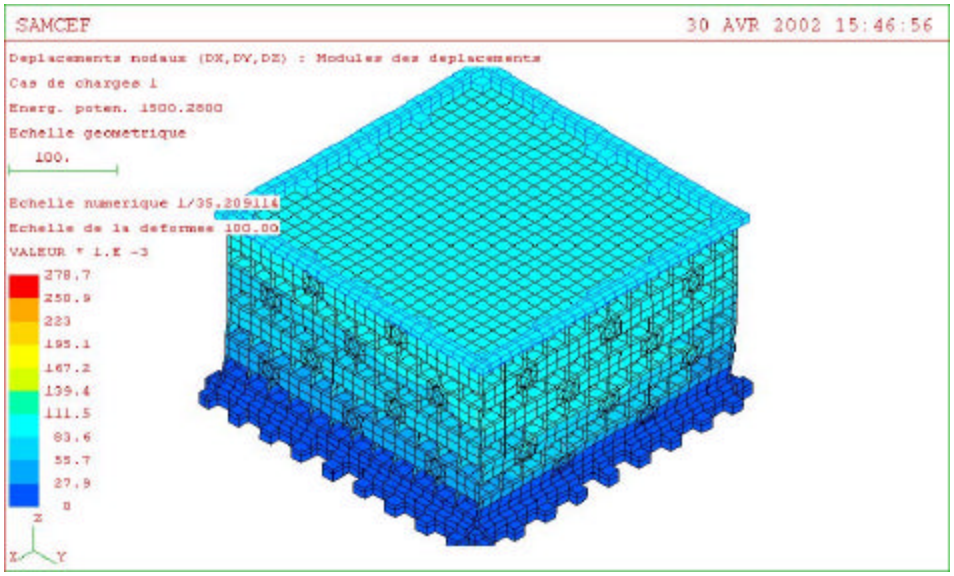
Margins of lower TSAI has 20 (zoom)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

8.1.2°) <u>12 G Along Y-Axis:</u>

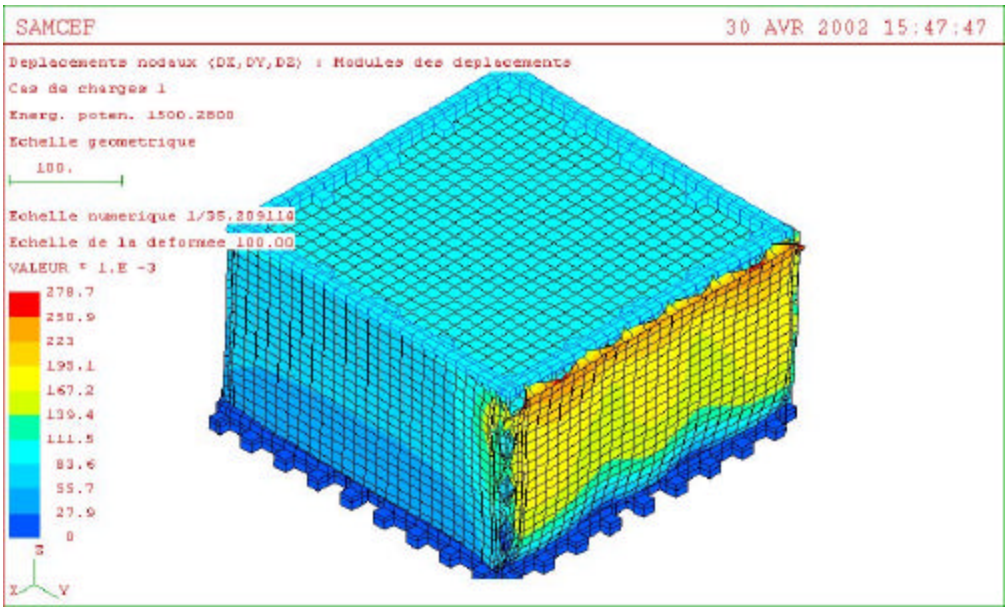


<u>Modèle complet - Module des déplacements</u>

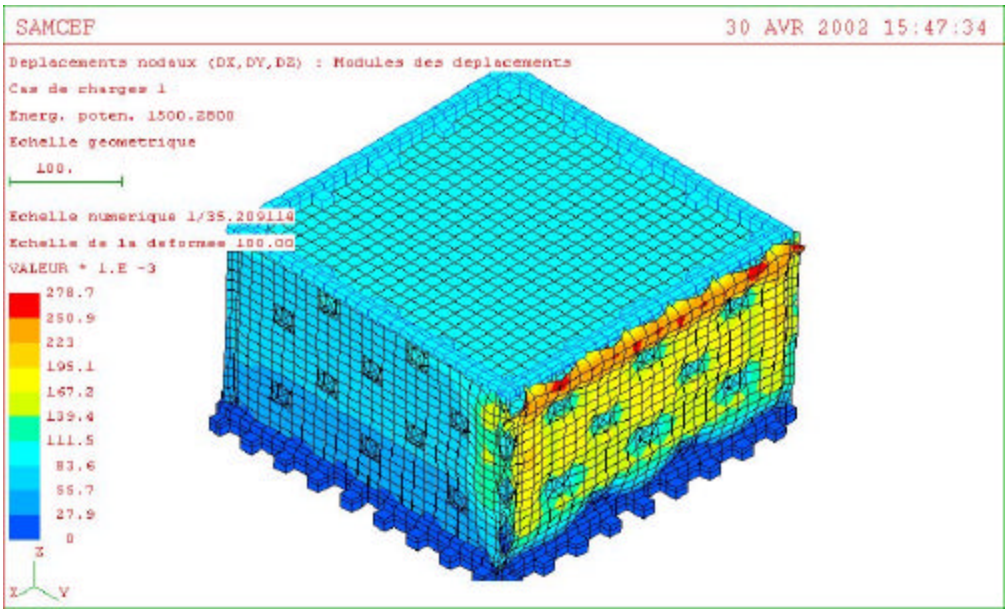


<u>Structure composite + plaques sup et inf – Module des déplacements</u>

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

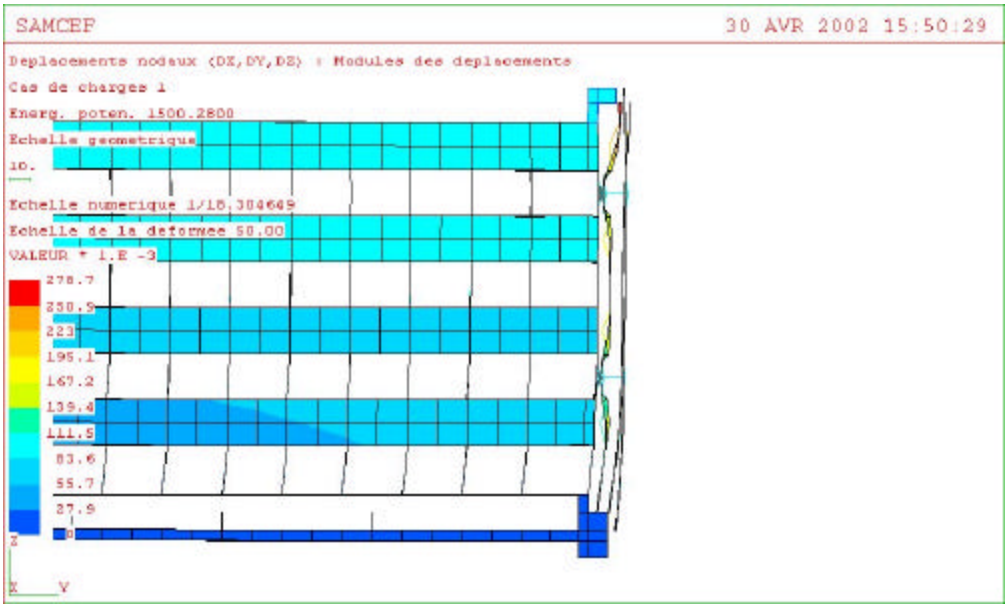


Idem précédent + Plaque de fermeture– Module des déplacements

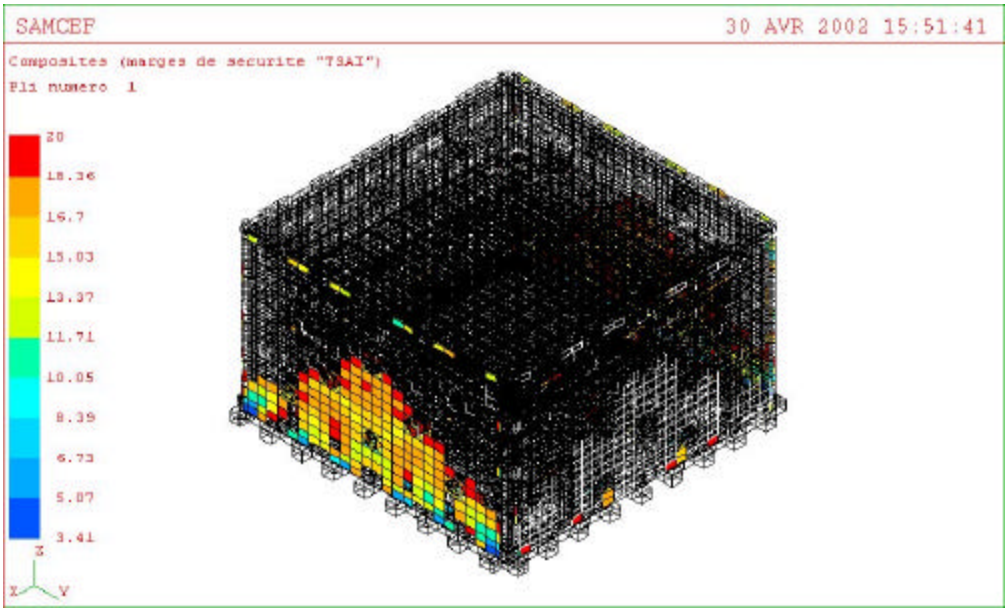


Idem précédent + circuits imprimés – Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

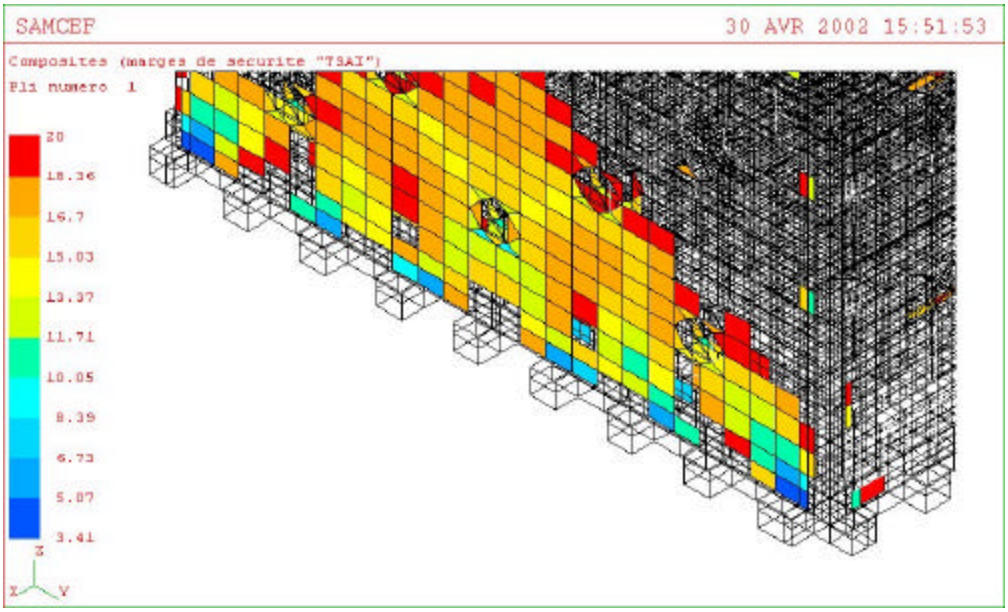


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant y)



Margins of lower TSAI has 20

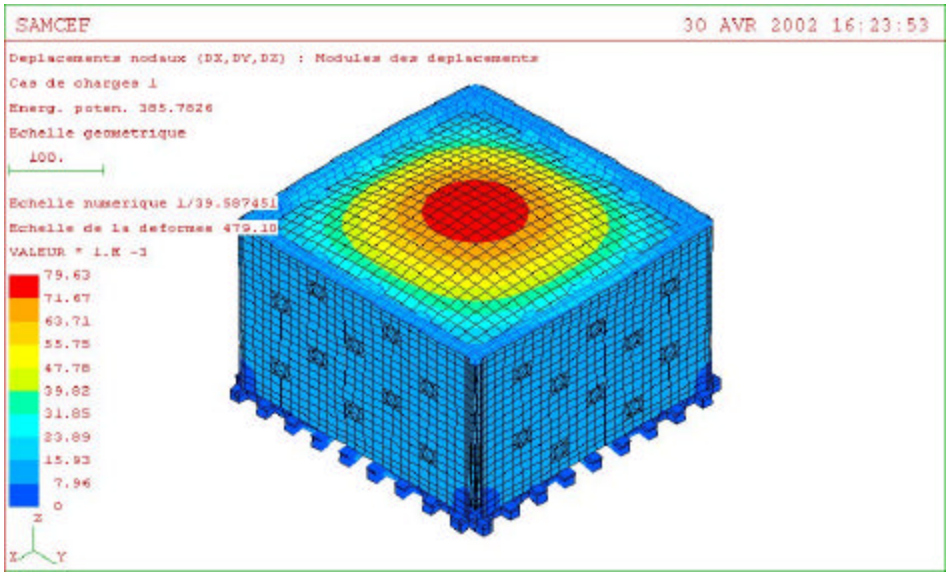
Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



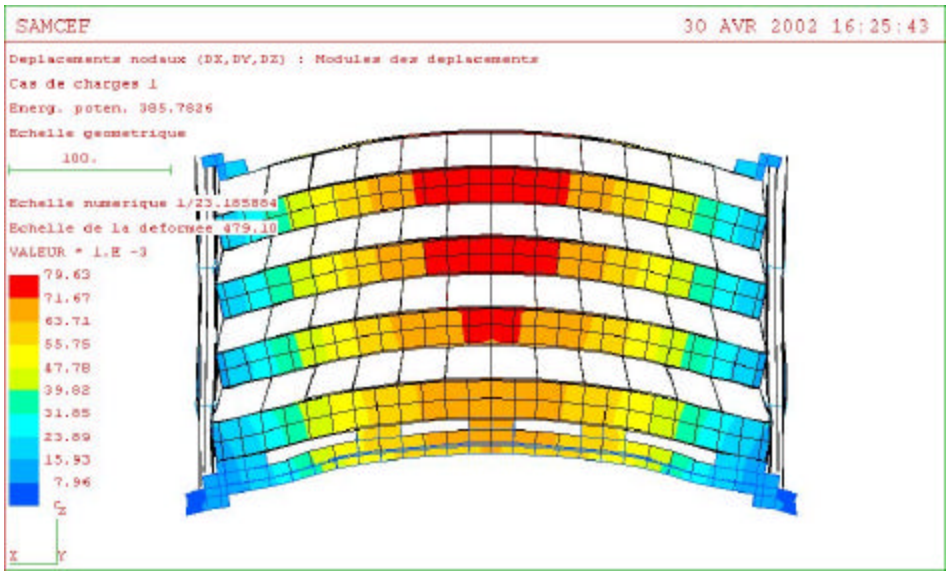
Margins of lower TSAI has 20 (zoom)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

8.1.3°) 12 G Along Z-Axis :

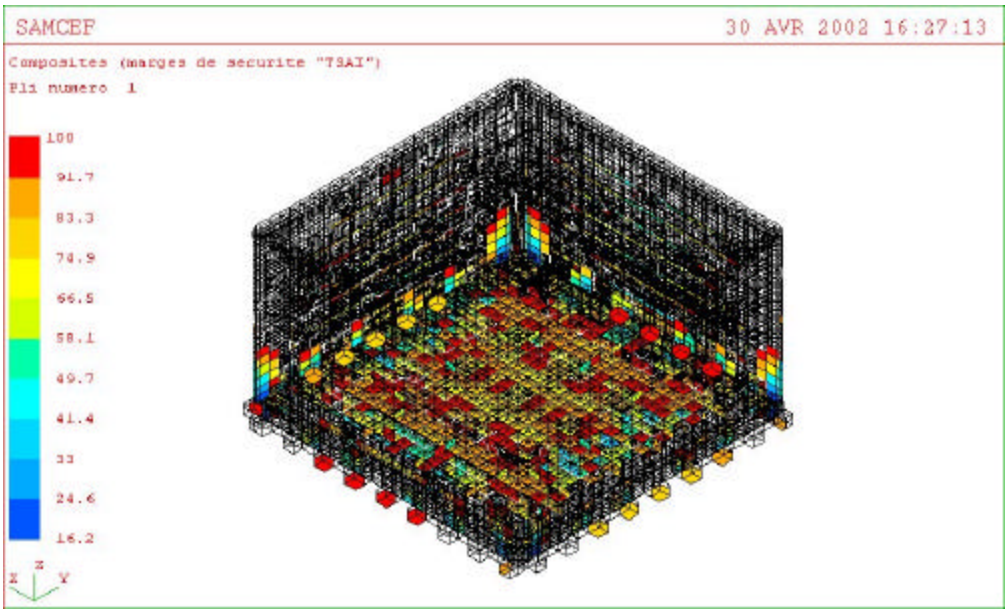


Modèle complet - Module des déplaceme nts

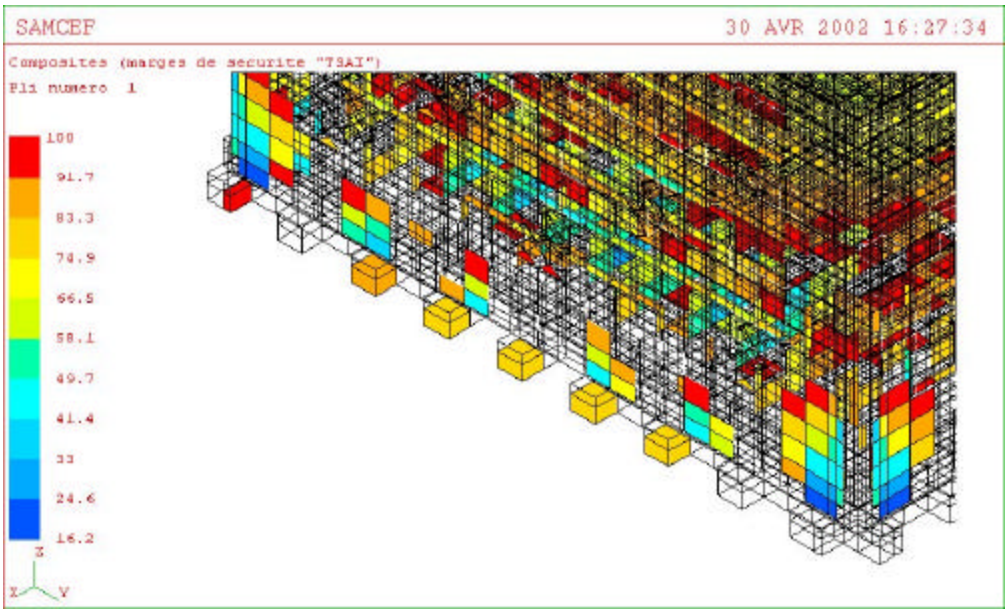


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant x)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



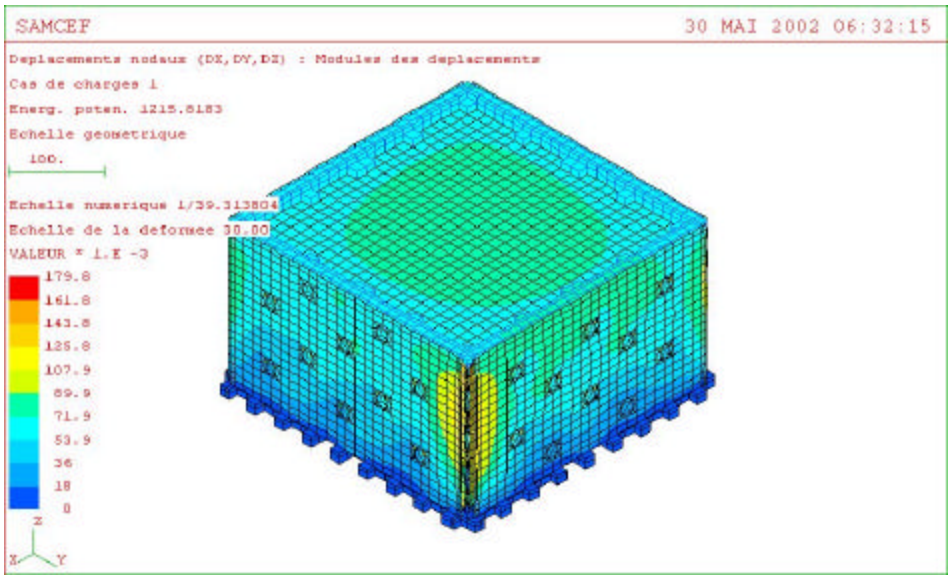
Margins of lower TSAI has 100



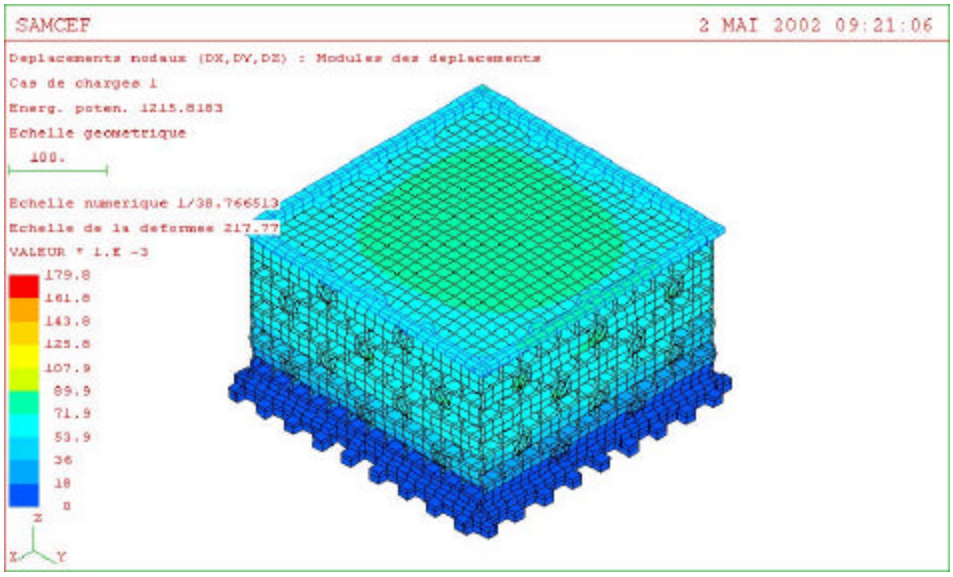
Margins of lower TSAI has 100 (zoom)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

8.1.4°) <u>7.5 G following X and Y, 8.5G according to Z:</u>

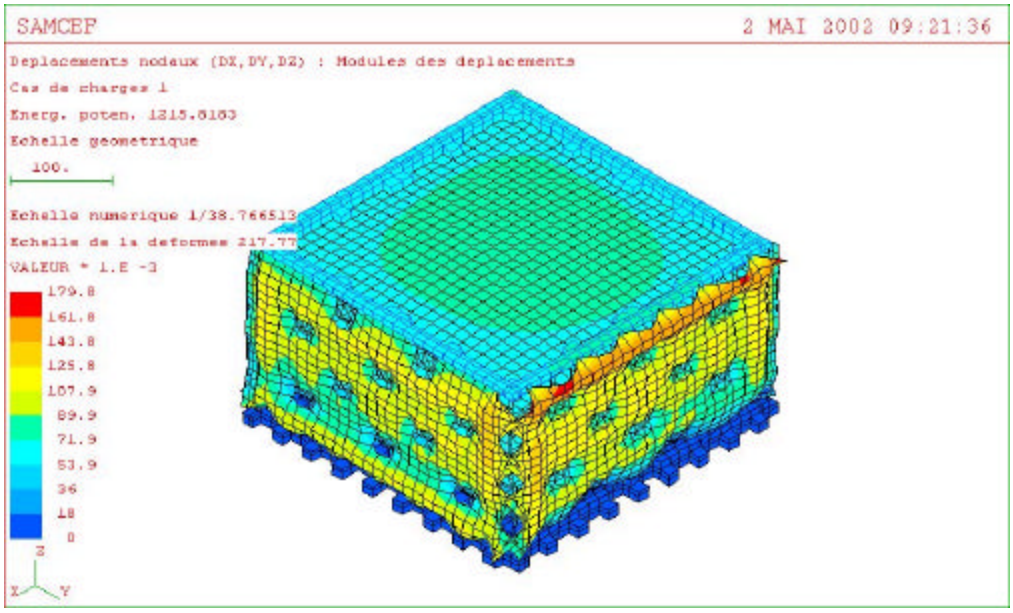


<u>Modèle complet - Module des déplacements</u>

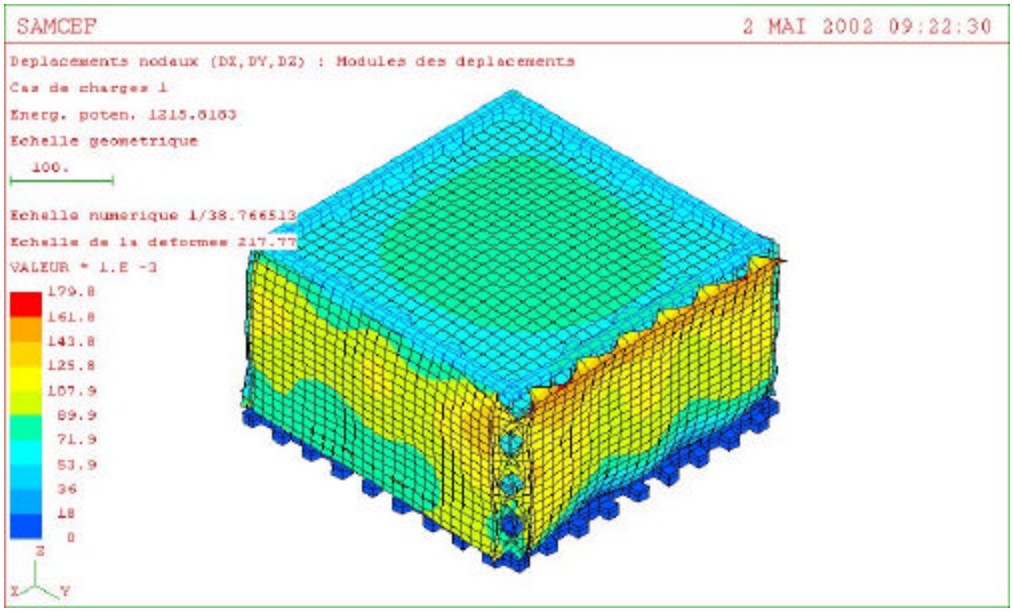


<u>Structure composite + plaques sup et inf – Module des déplacements</u>

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

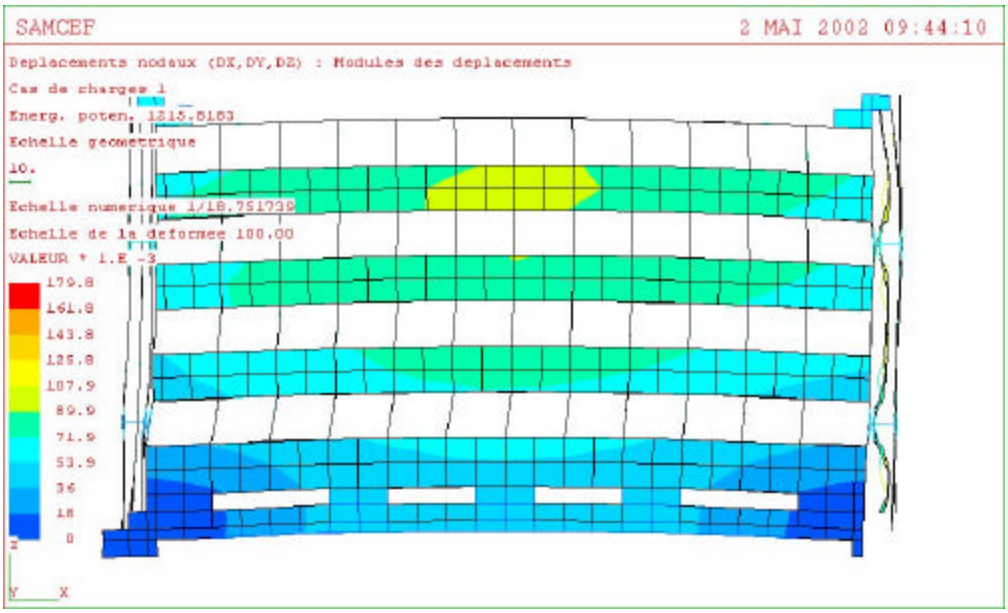


Idem précédent + Plaque de fermeture– Module des déplacements

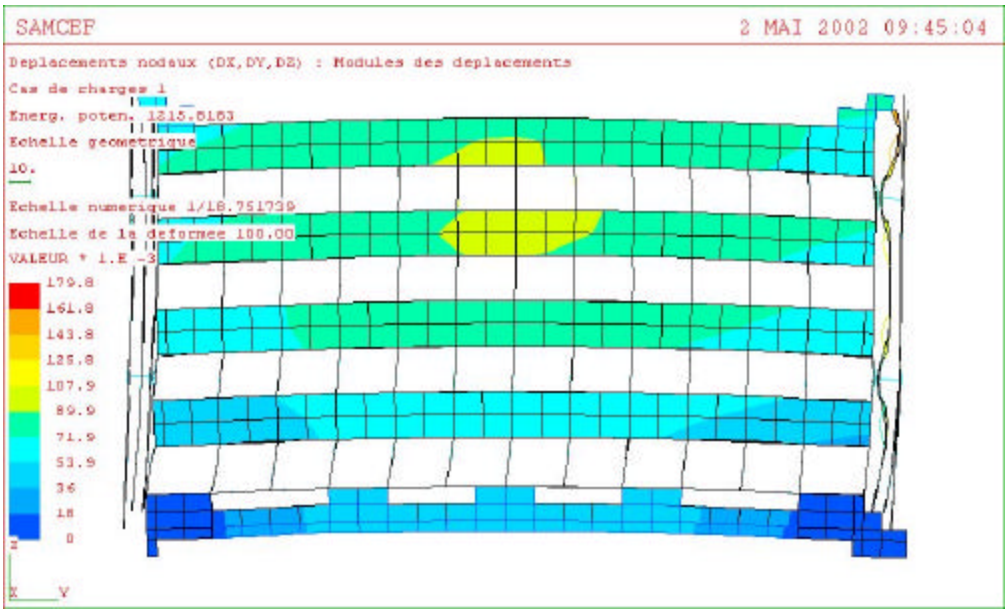


Idem précédent + circuits imprimés – Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

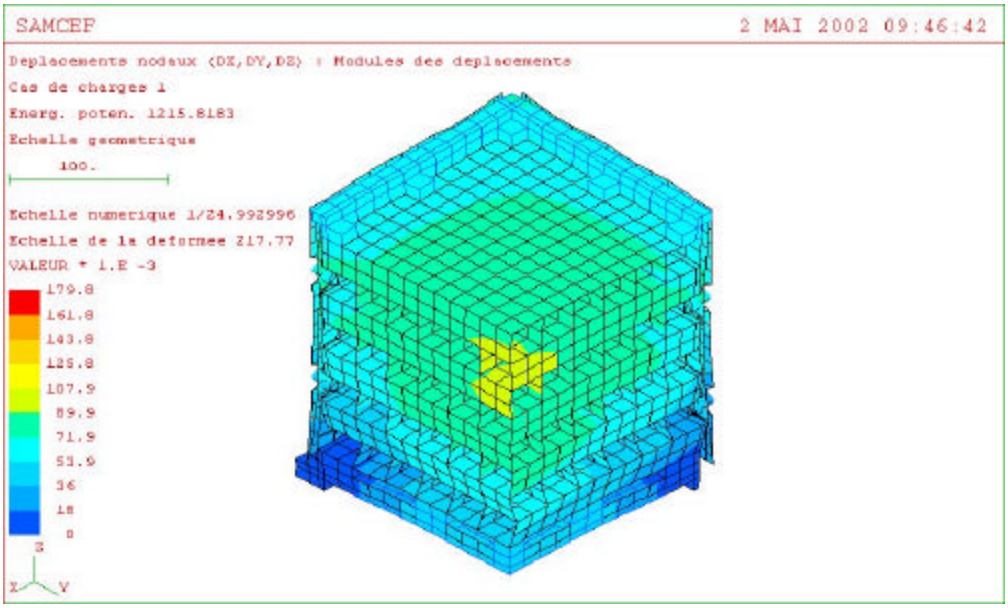


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant x)

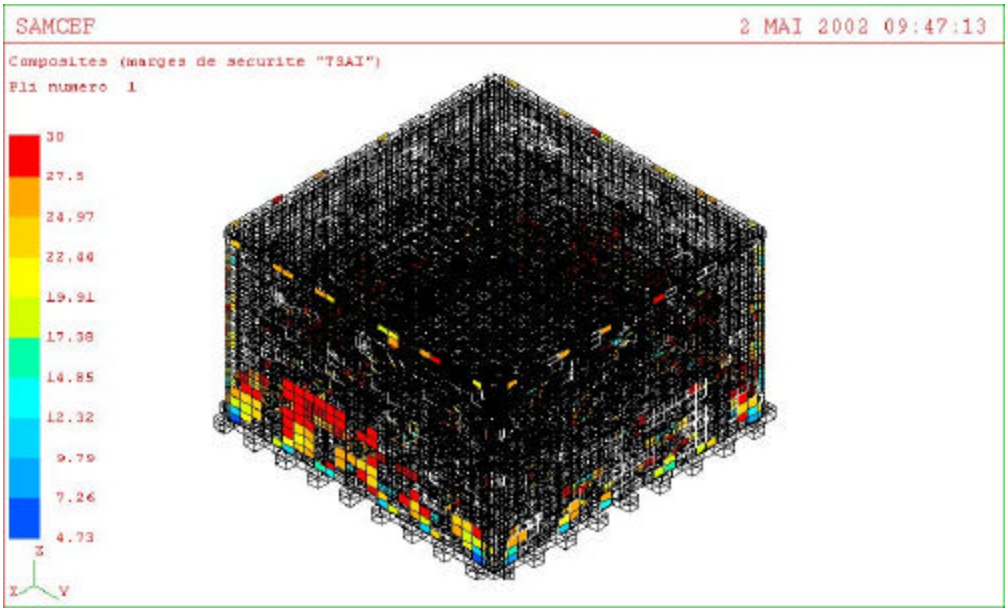


Modèle comple t - Module des déplacements (coupe suivant y)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

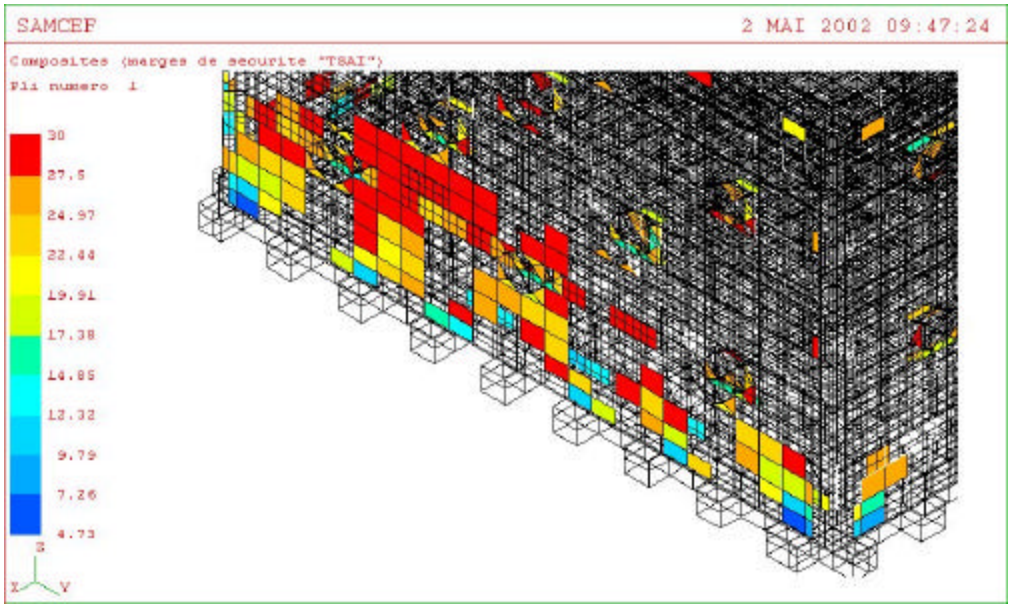


Modèle complet - Module des déplacements (1/4 de modèle)



Margins of lower TSAI has 30

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

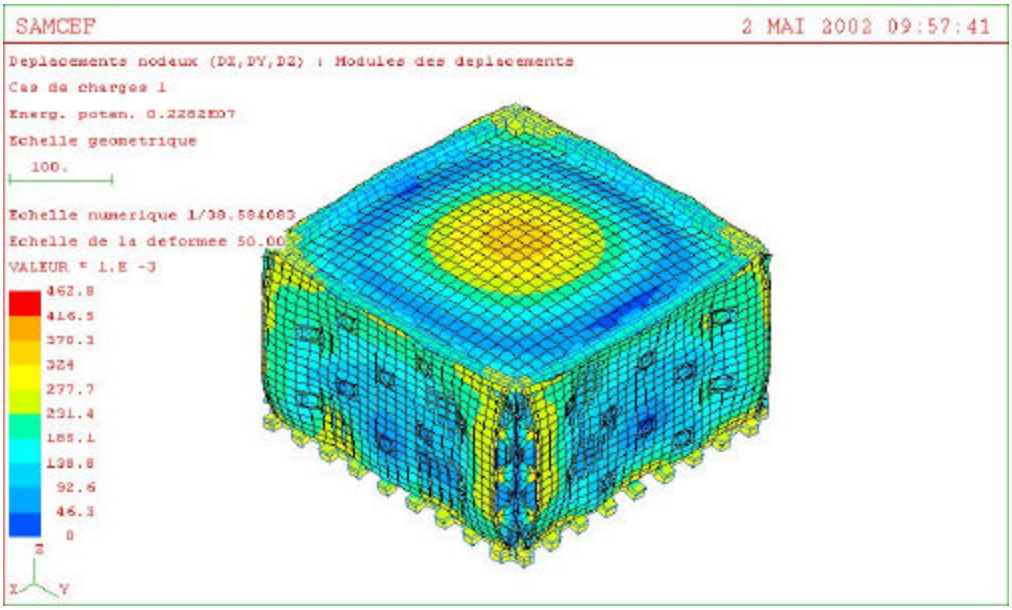


Margins of lower TSAI has 30 (zoom)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

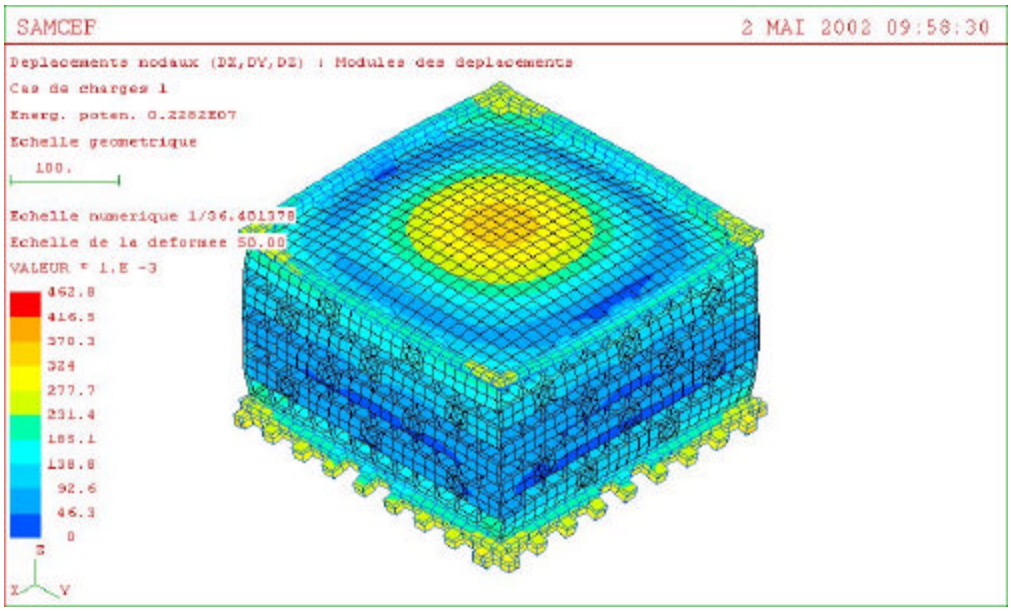
8.2°) Thermomechanical Analysis:

8.2.1°) Reduction in the Temperature of 65°C:

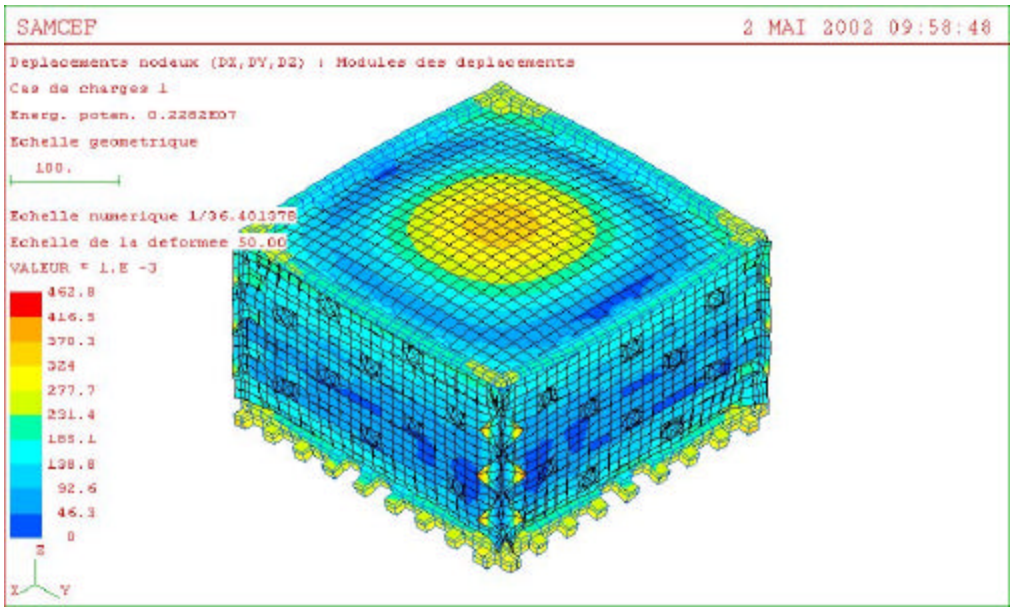


Modèle complet - Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

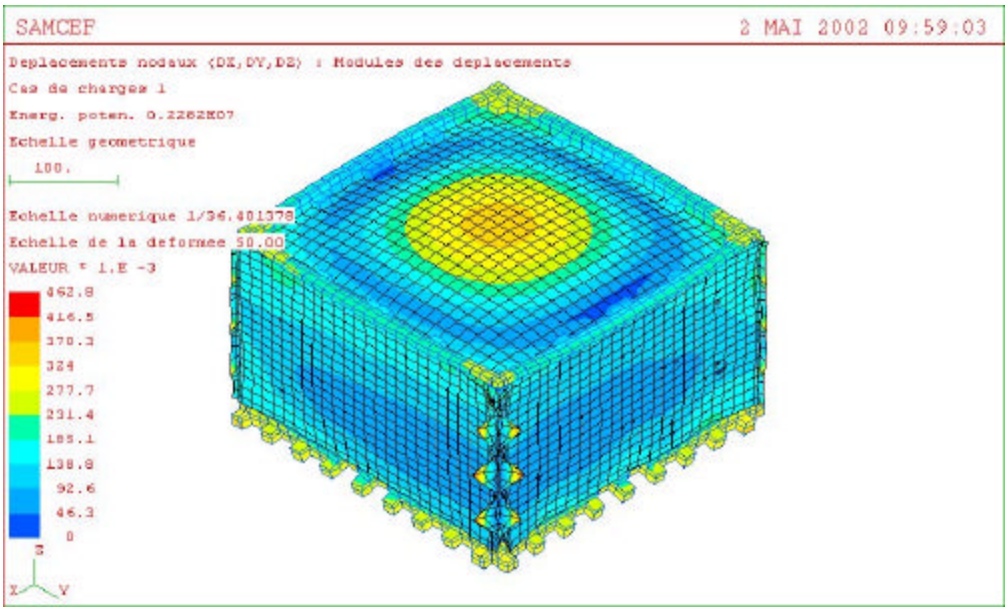


Structure composite + plaques sup et inf – Module des déplacements

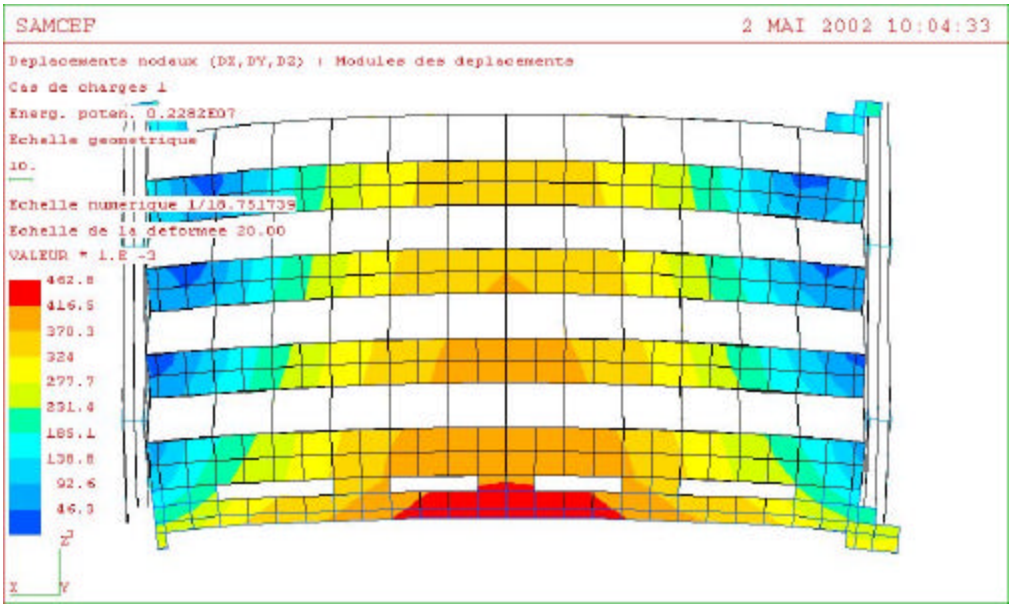


Idem précédent + Plaque de fermeture– Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

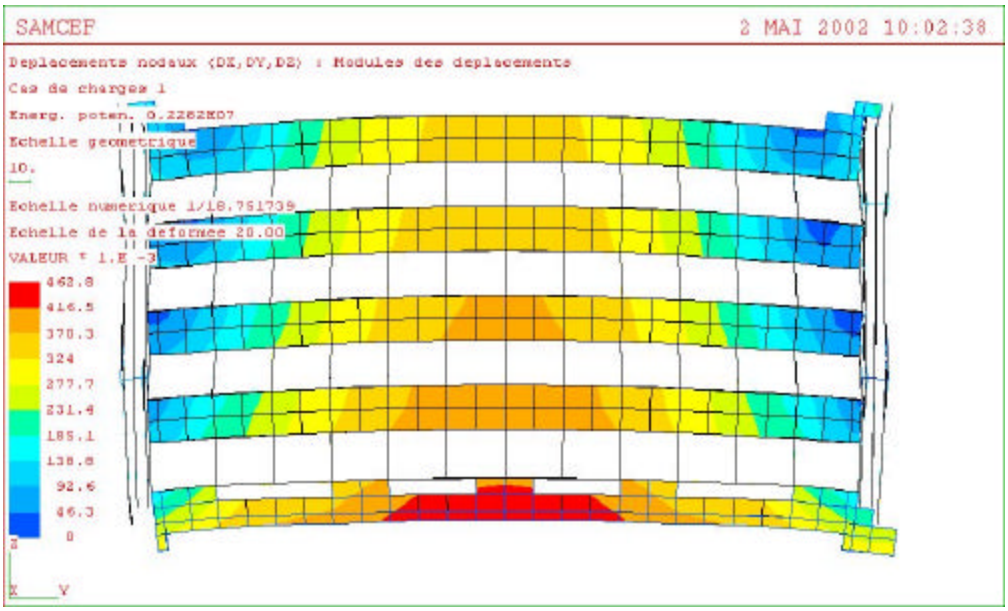


Idem précédent + circuits imprimés – Module des déplacements

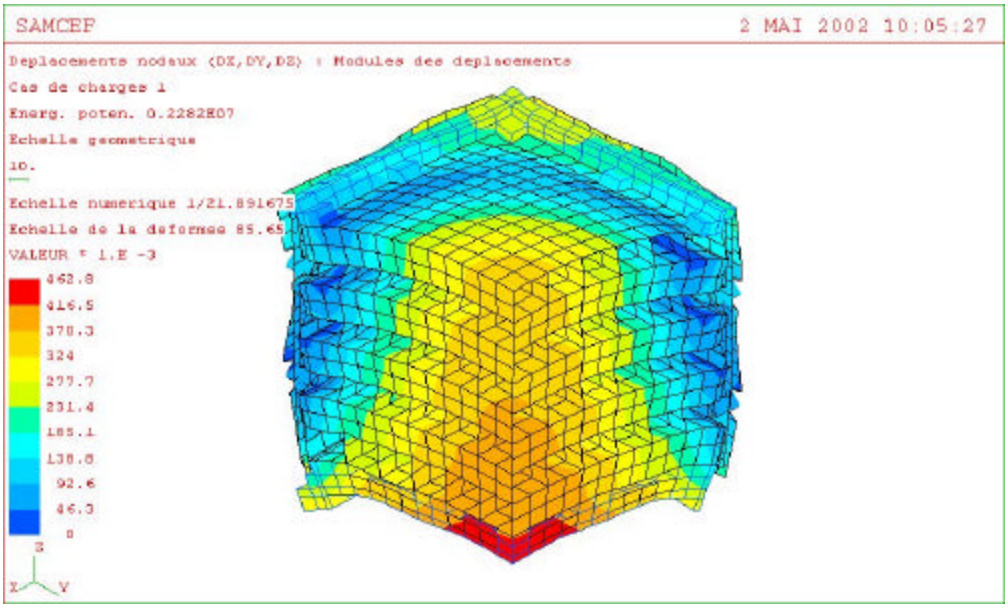


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant x)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

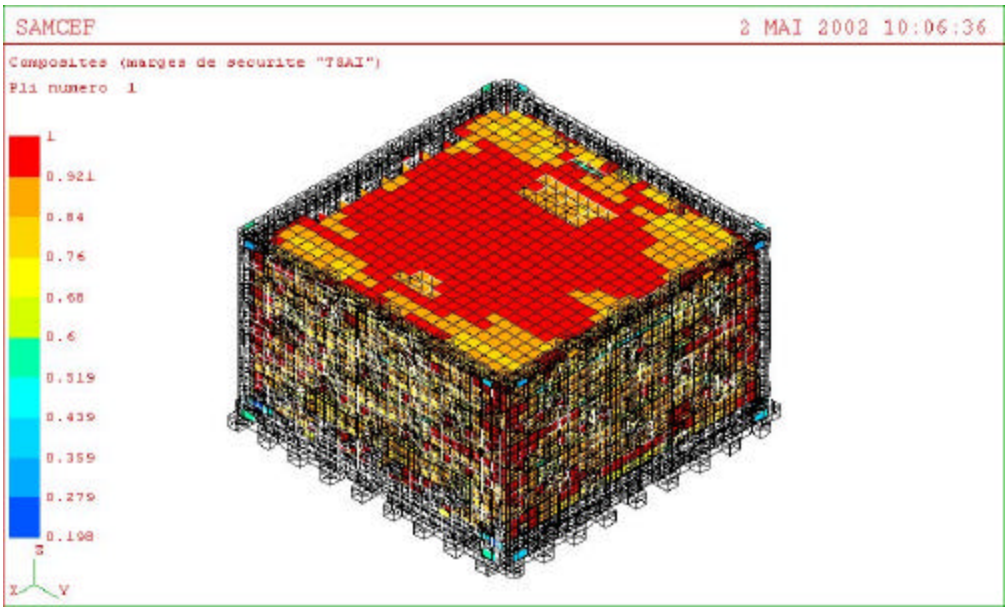


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant y)

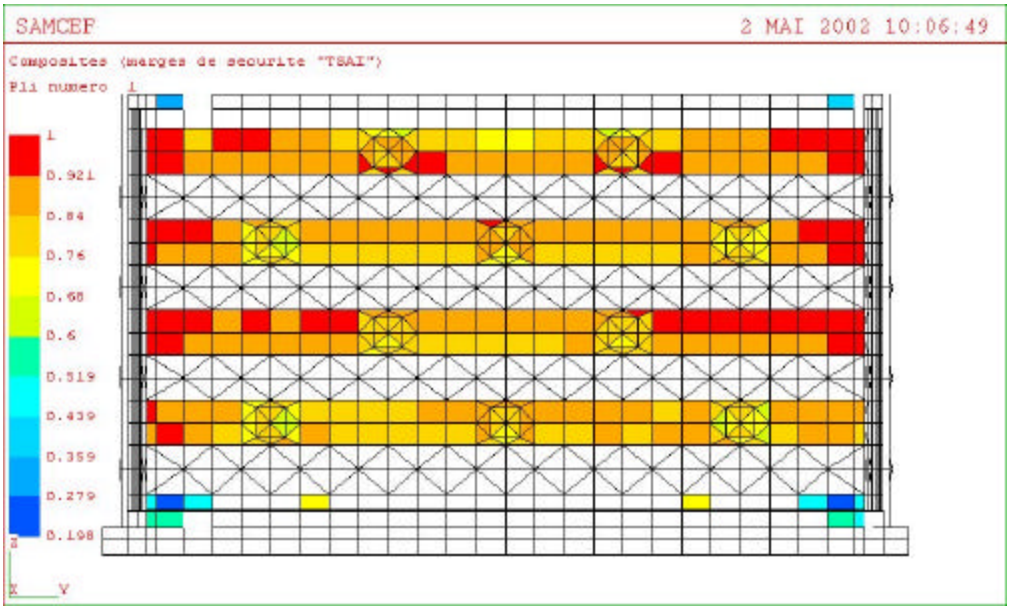


Modèle complet - Module des déplacements (1/4 modèle)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

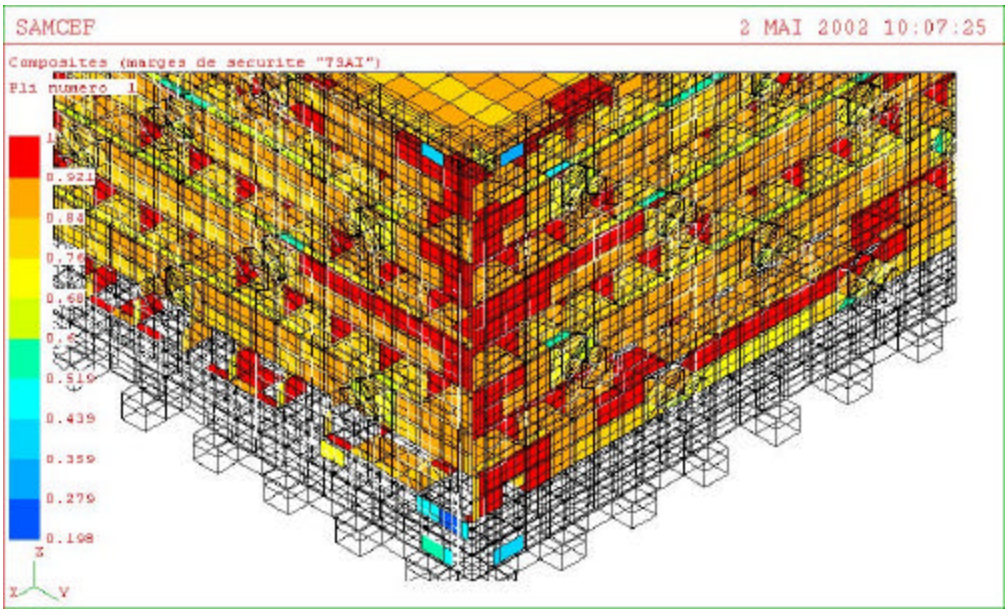


Margins of lower TSAI has 1



Margins of lower TSAI has 1 (sight of dimension)

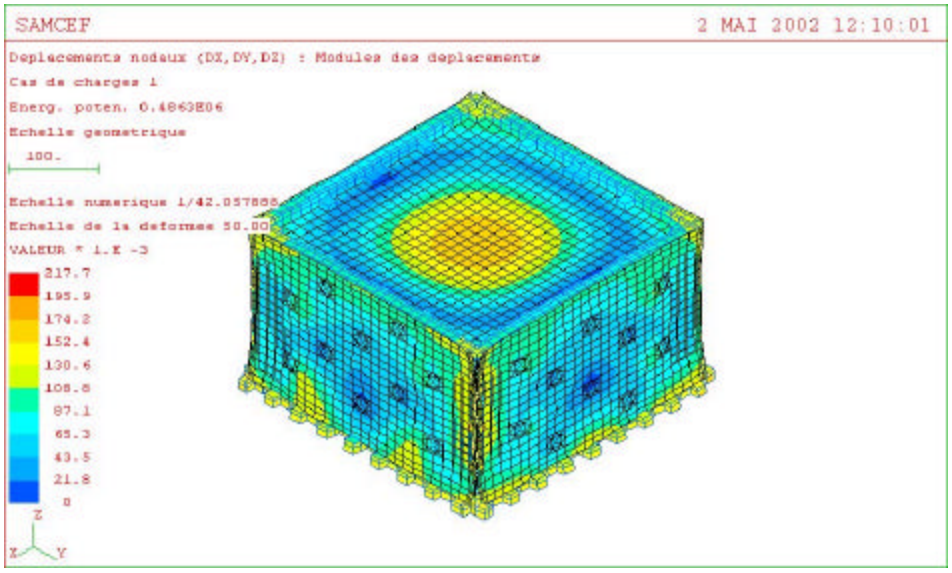
Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



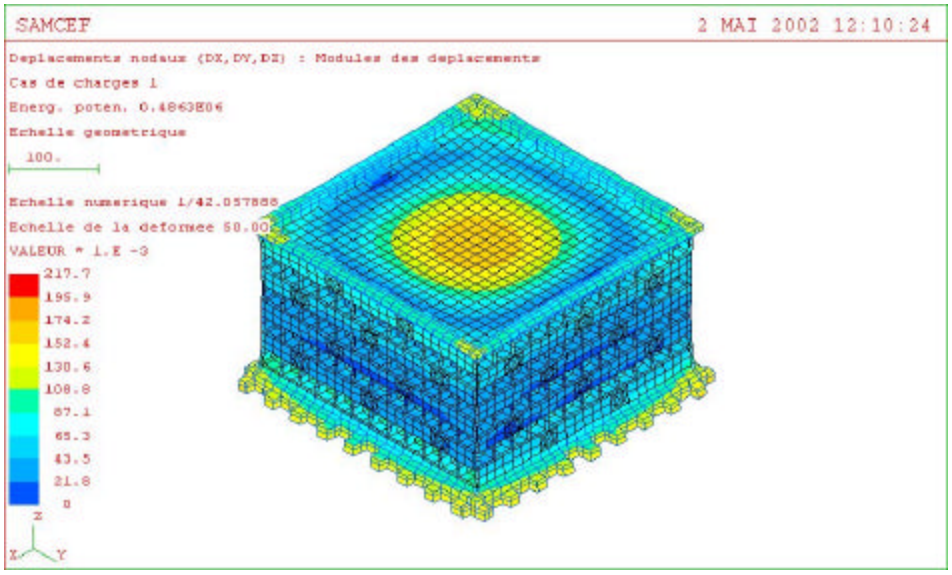
Margins of lower TSAI has 1 (zoom)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

8.2.2°) <u>Increase in the temperature of 30°C:</u>

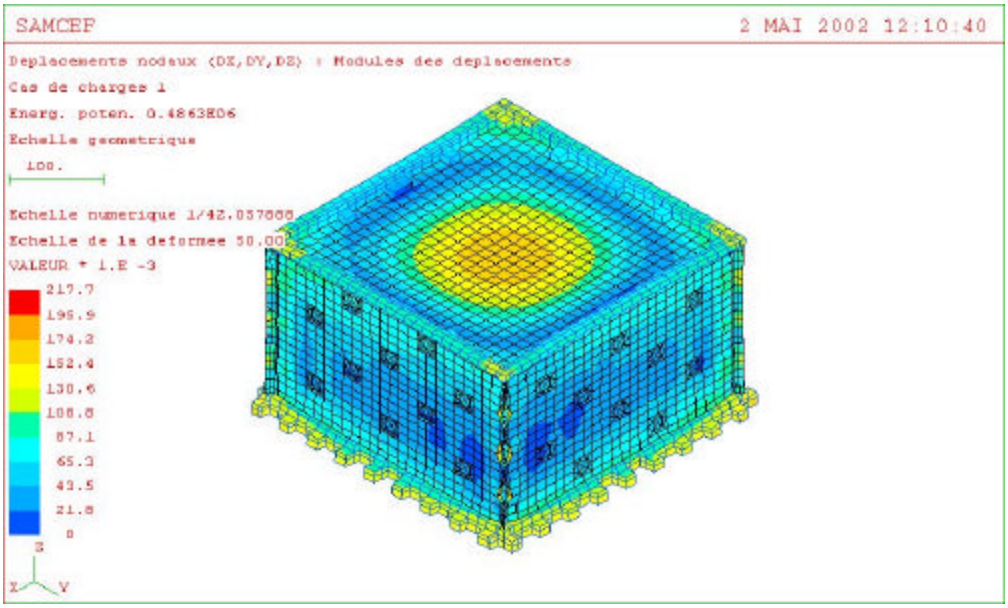


<u>Modèle complet - Module des déplacements</u>

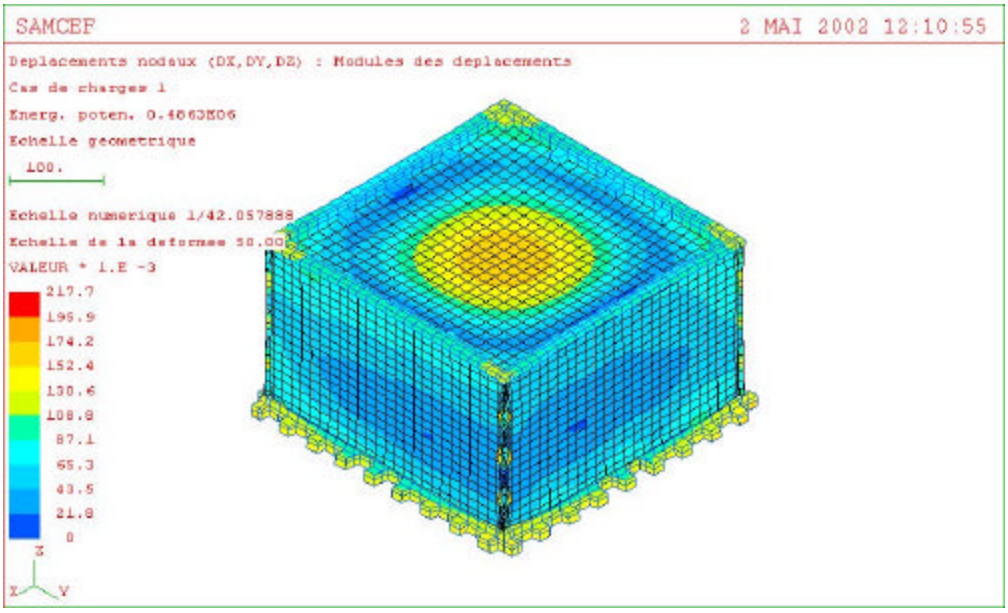


<u>Structure composite + plaques sup et inf – Module des déplacements</u>

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

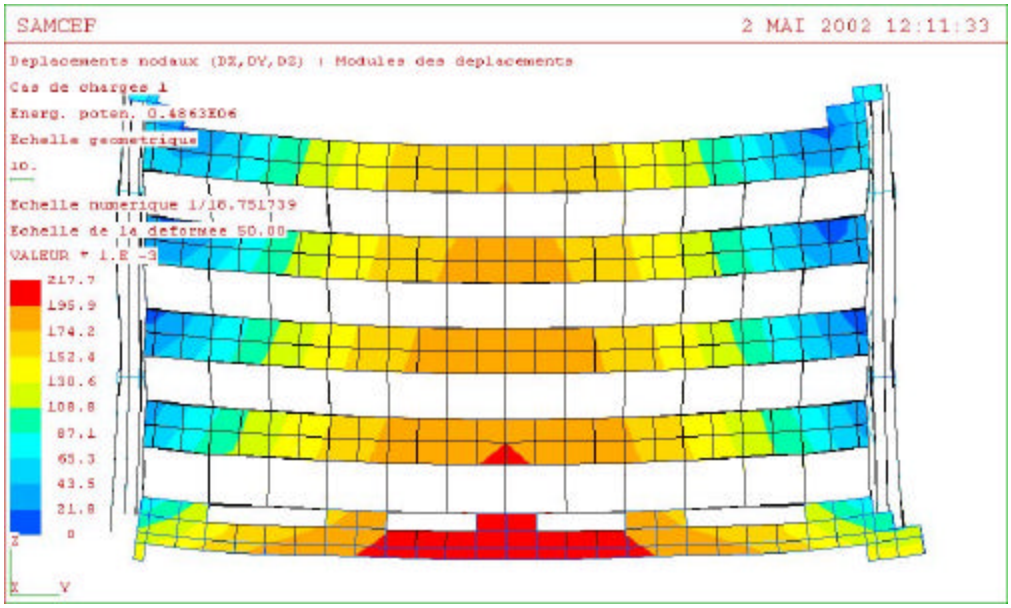


Idem précédent + Plaque de fermeture– Module des déplacements

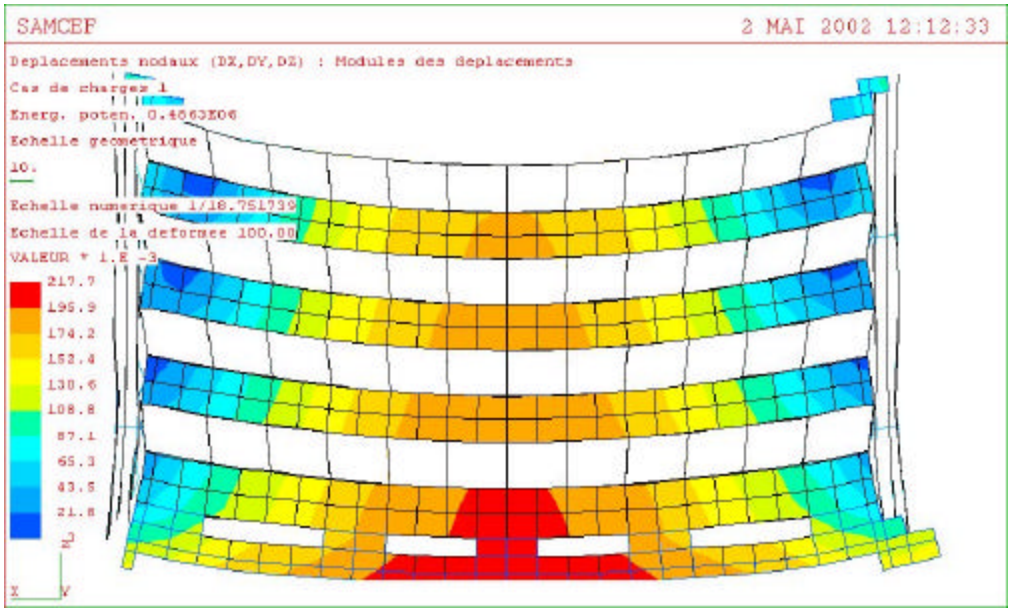


Idem précédent + circuits imprimés – Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

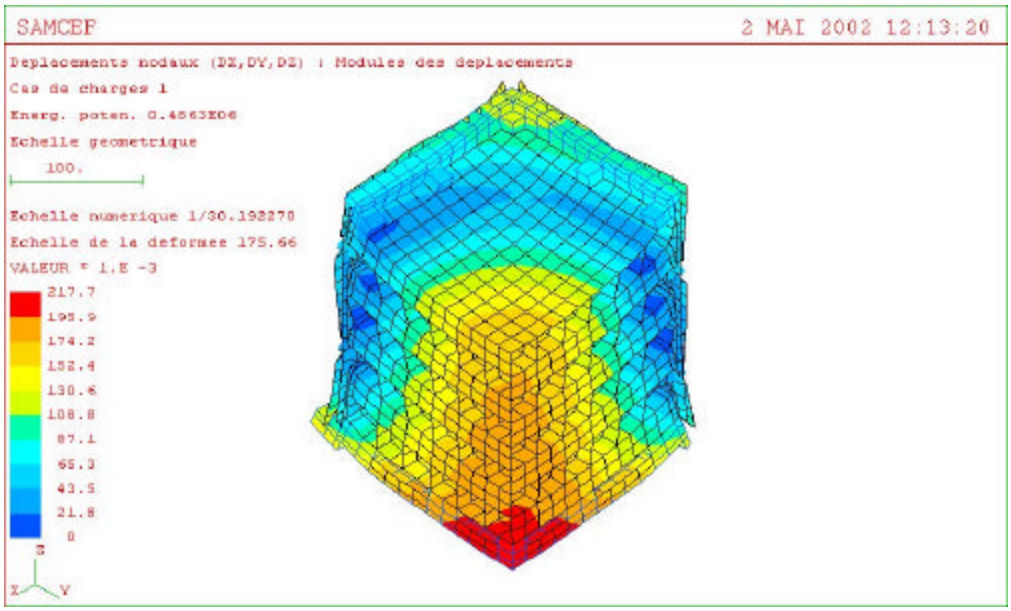


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant y)

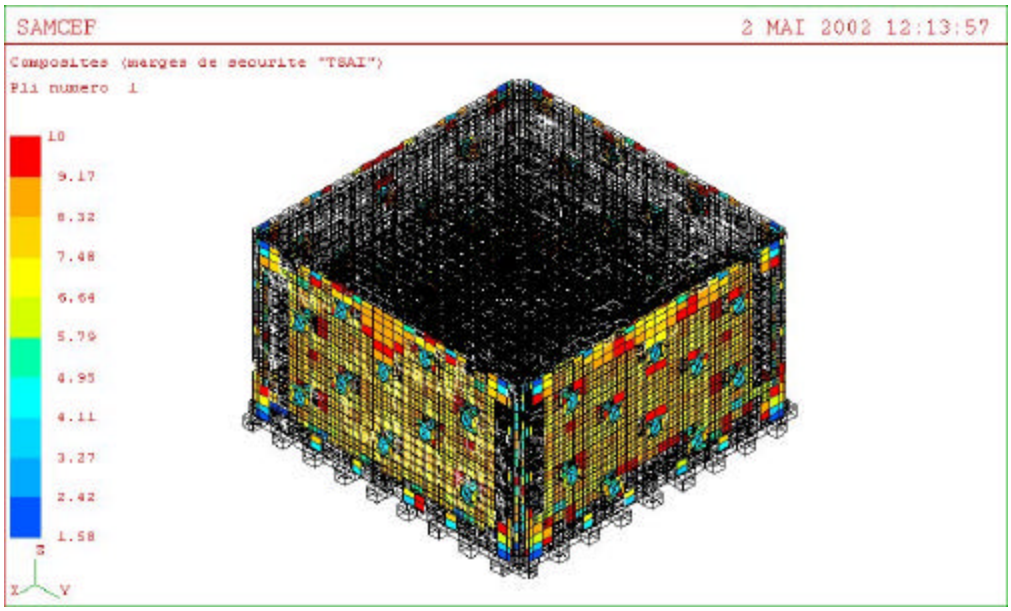


Modèle complet - Module des déplacements (coupe suivant x)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

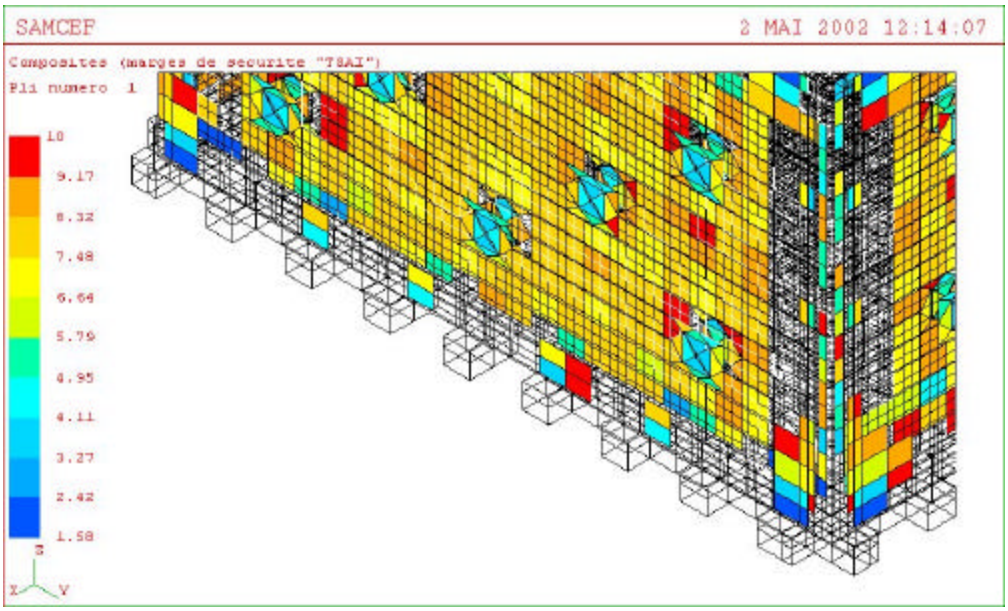


Modèle complet - Module des déplacements (1/4 de modèle)



Margins of lower TSAI has 10

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



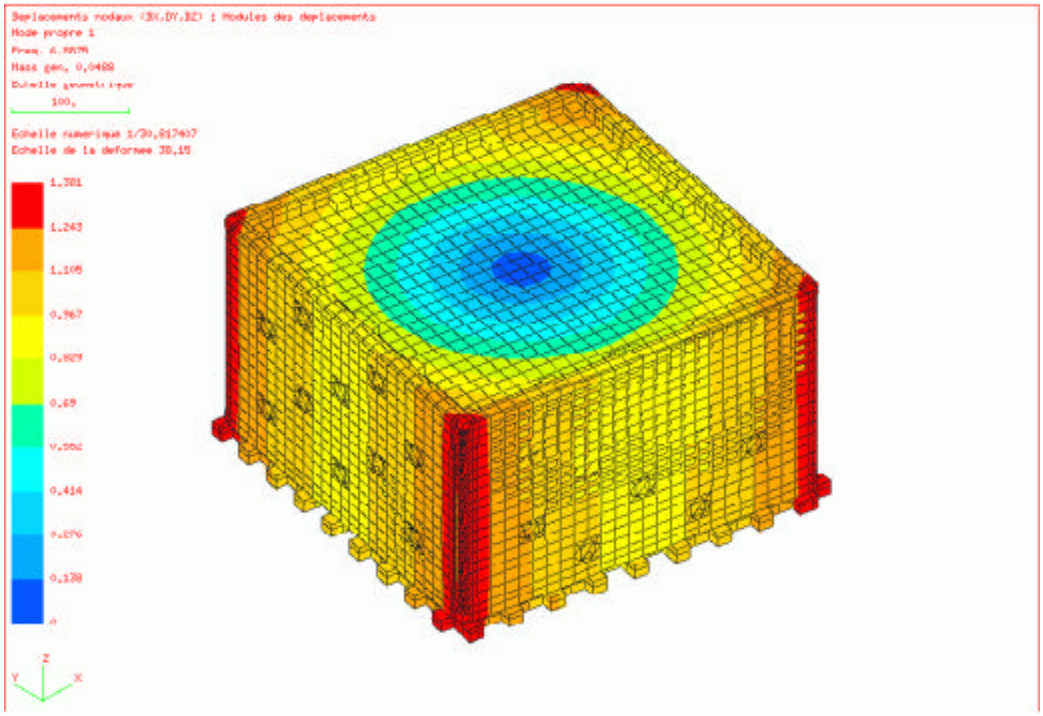
Margins of lower TSAI has 10 (zoom)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

8.3°) Modal Analysis :

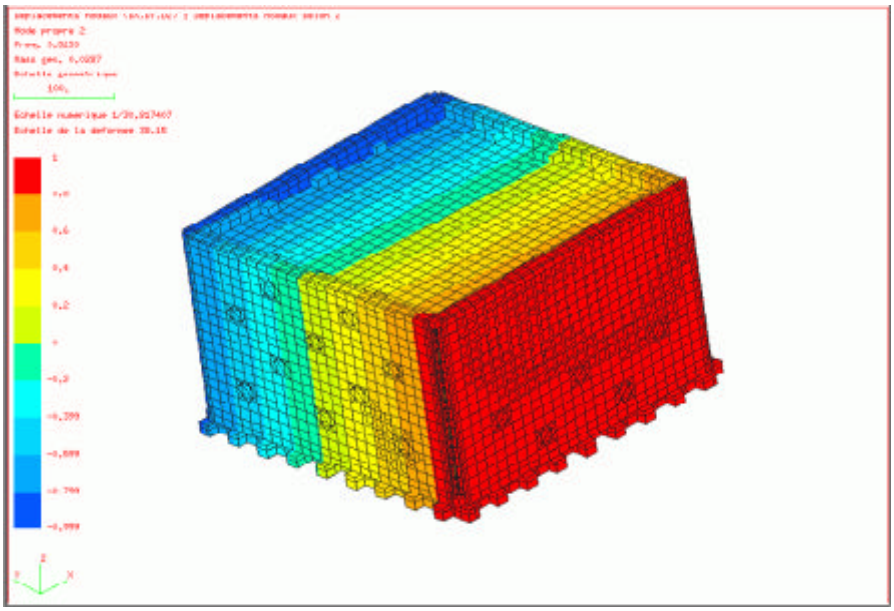
Determination of Eigen Frequencies in the Free-Free Mode:

Taking into account the design assumption, the first 3 Eigen frequencies do not have really physical significance.

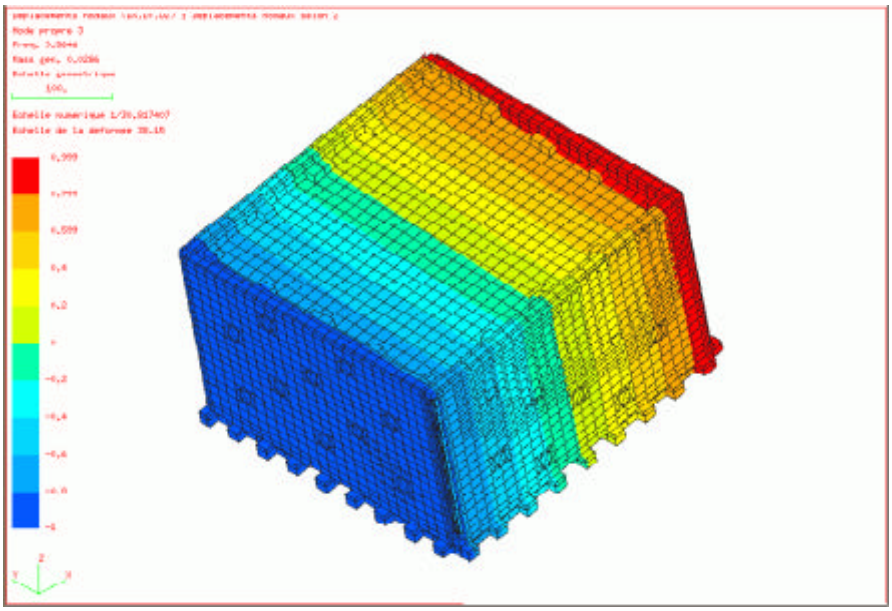


Mode n°1 (6.88 Hertz) : Rotation autour de l'axe Z

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

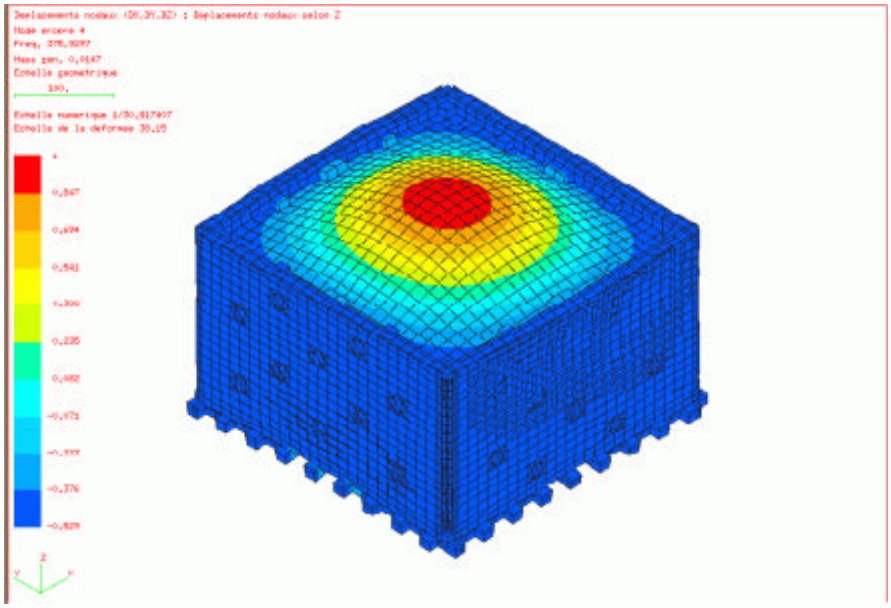


Mode n°2 (9.52 Hertz) : Rotation autour de l'axe X

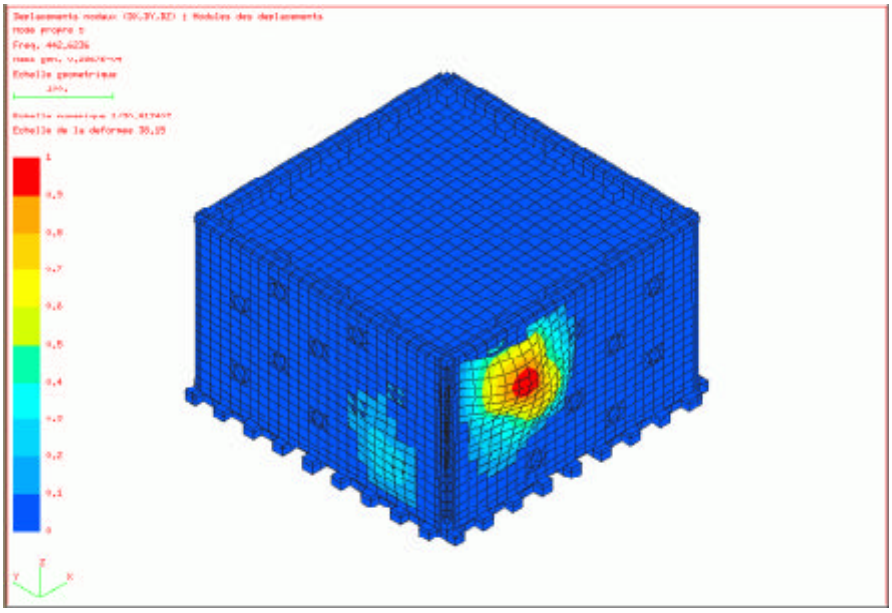


Mode n°3 (9.56 Hertz) : Rotation autour de l'axe Y

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

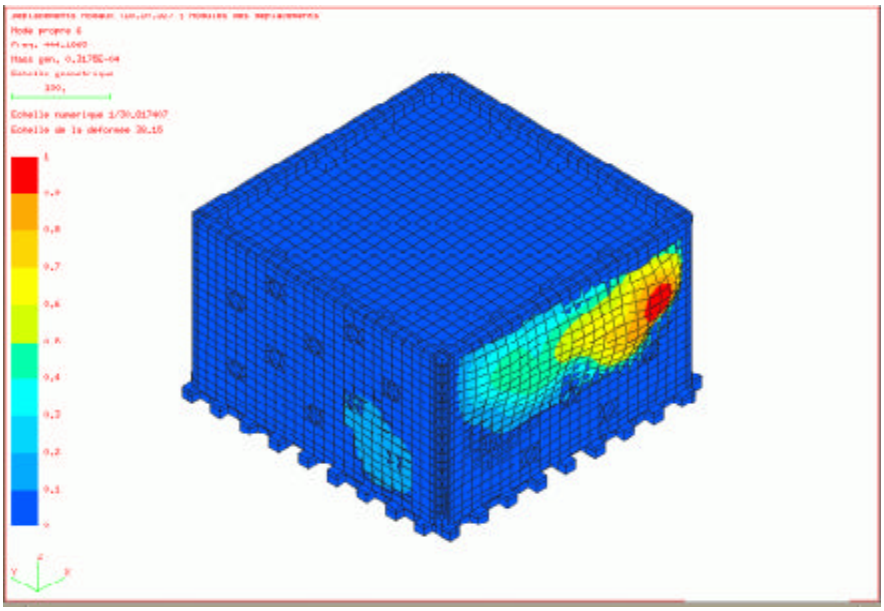


Mode n° 4 (375.93 Hertz) : Déplacement du centre de la pièce sur Z

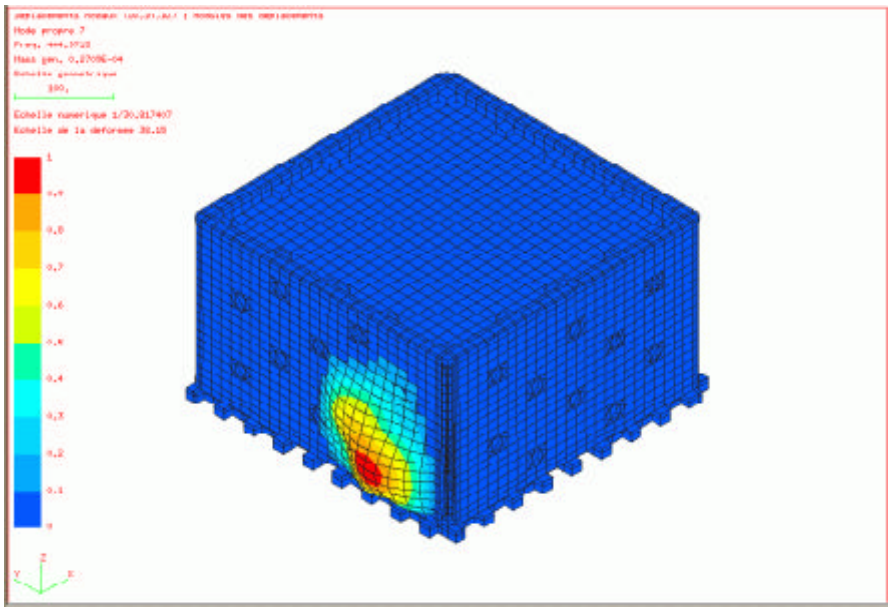


Mode n° 5 (442.62 Hertz) : Mode locale sur la plaque de fermeture et les circuits imprimés

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



Mode n° 6 (444.19 Hertz) : Mode locale sur la plaque de fermeture et les circuits imprimés



Mode n° 7 (444.97 Hertz) : Mode locale sur la plaque de fermeture et les circuits imprimés

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

The analysis resulted in the first normal mode of the structure to be 376 Hz (vertical Displacement of the higher face). It is advisable to be careful with these results since the vibration test of the structure resulted in a much lower frequency (normal modes on X, Y and Z from approximately 180 to 200 Hz).

The reason of this shift is most probably due to the fact that at this range, 0 - 250 Hz, the normal modes of the Cesium bars are excited. However the model did not to take into account the normal modes of the Cesium bars in the configuration retained in statics.

In order to take into account the normal modes of the Cesium bars, we will model 2 of them partly higher (zone or they are likely to have the strongest influence on the behavior of the structure.

The bar will be modeled by a beam having the characteristics of the Cesium bar (Inertias, module, mass).

The elastomer cords, which ensure the connection between the Cesium bar and composite cell will be represented by a series of springs of equivalent stiffness (stiffness of elastomer having been determined by a series of tests).

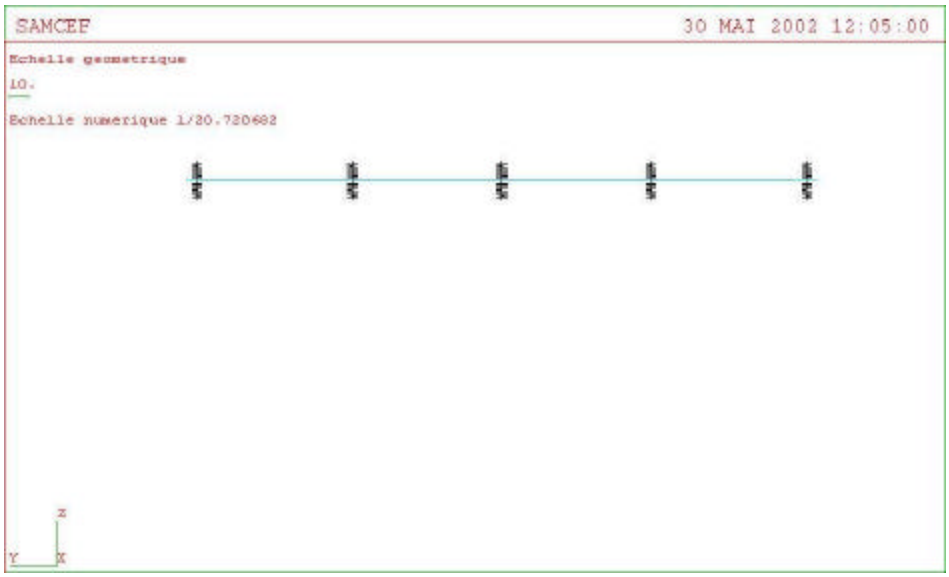
For each bar, there will be five lines of springs on each of the four corners as shown in the following figures. On each line, there will be four springs.

The elastomer has a stiffness from approximately 565 N/mm. Therefore, each spring will have a stiffness of 113 N/mm (565/5). Since the springs are oriented at 45°, the stiffness is 80 N/mm following Y and 80 N/mm following Z.

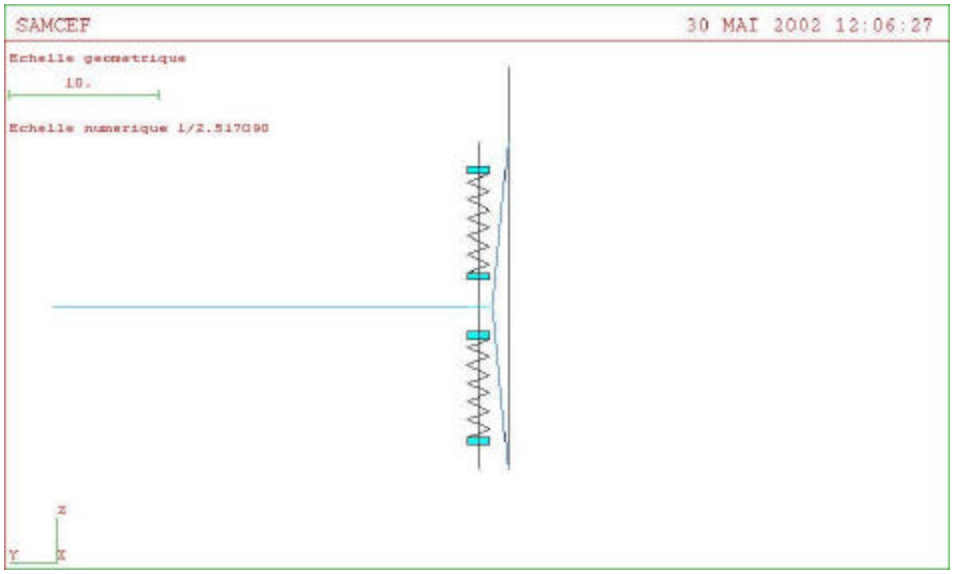
The Cesium bar/close-out plate connection will be similarly modeled using a spring of stiffness 180 N/mm between the end of the bar and a beam of beams against the plate.

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

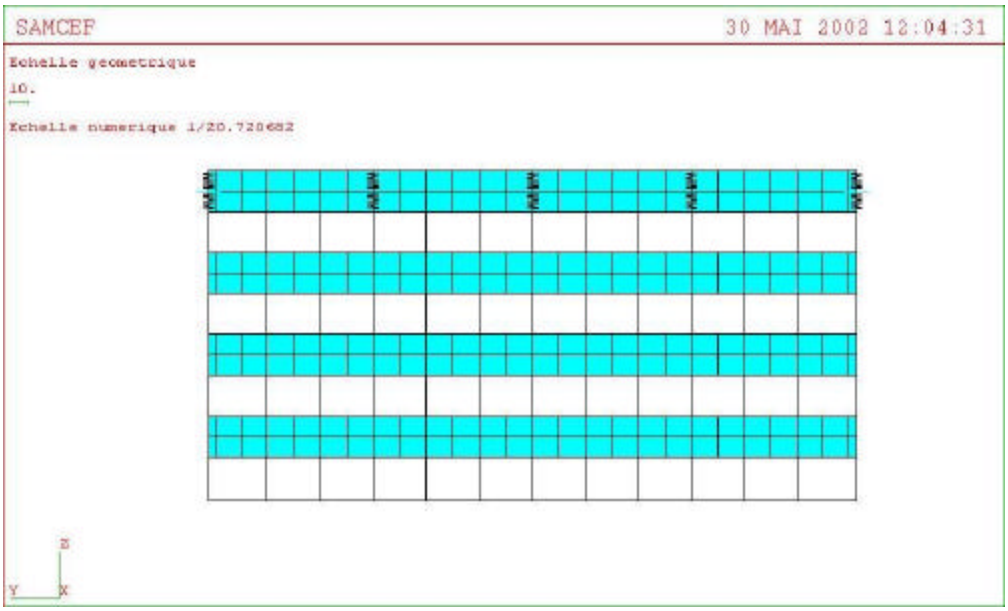
Drawing below accounts for 1 bar equipped with its 5 lines of transverse springs:

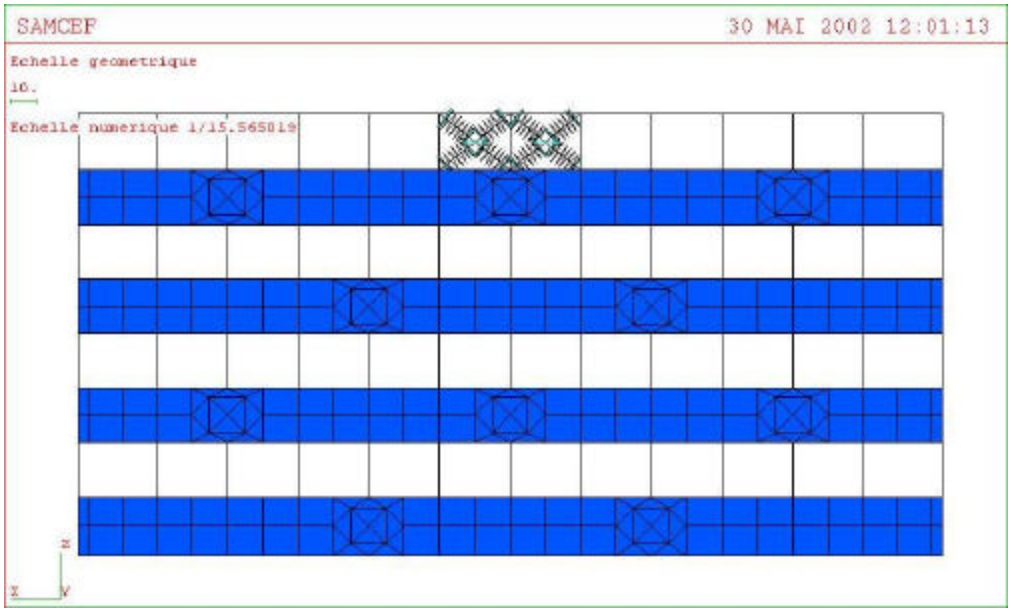


Drawing Ci against represents the connection bar – cell as well as the connection bar – beam of beams connected to the cover plate (arises small nonvisible on the drawing)



Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

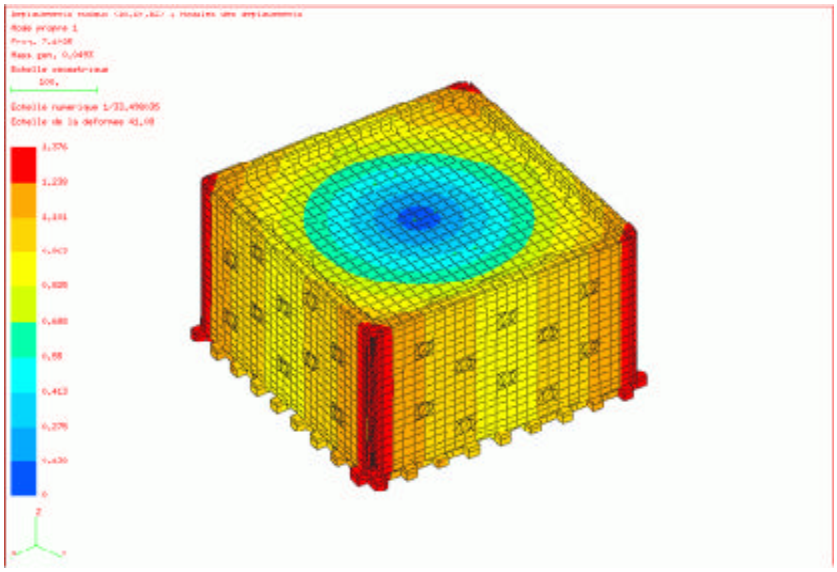




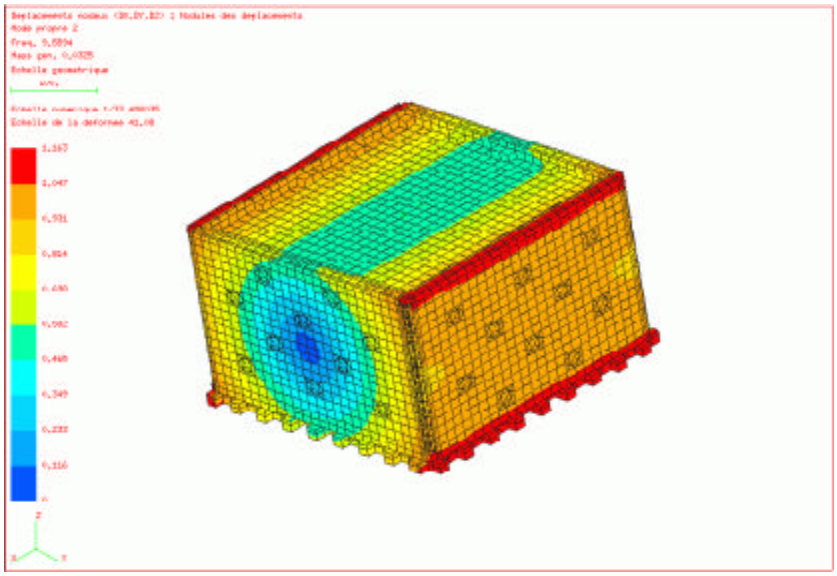
Modeling of 2 Cesium Bars with their Connections

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

Images Ci below represent the various normal modes into free-free with their associated frequency:

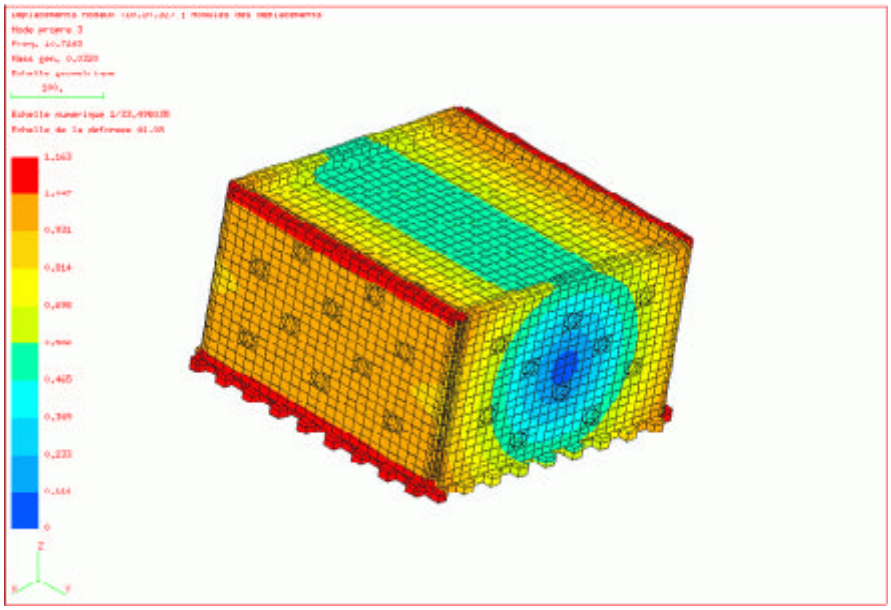


Mode n° 1 (7.10 Hertz): Rotation About Z-Axis

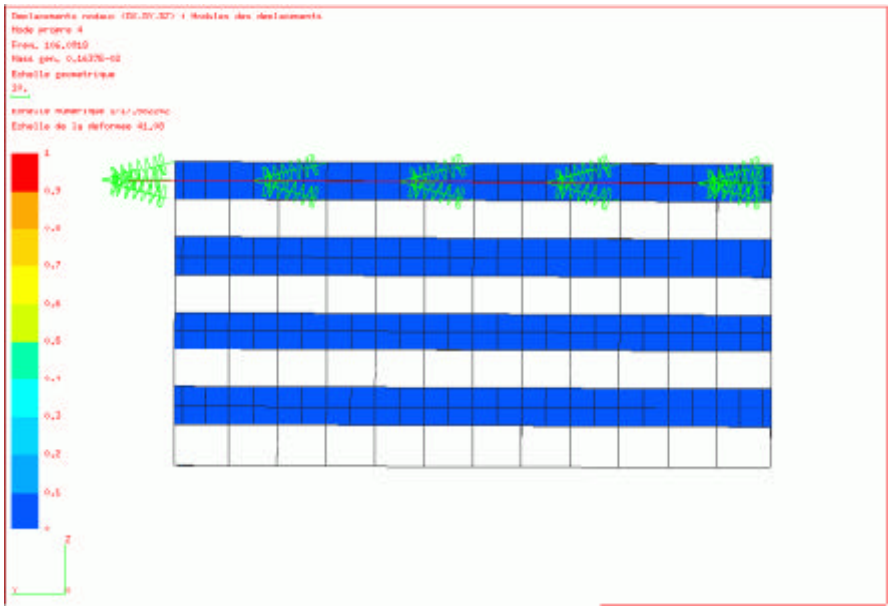


Mode n°2 (9.55 Hertz) : Rotation About X-Axis

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

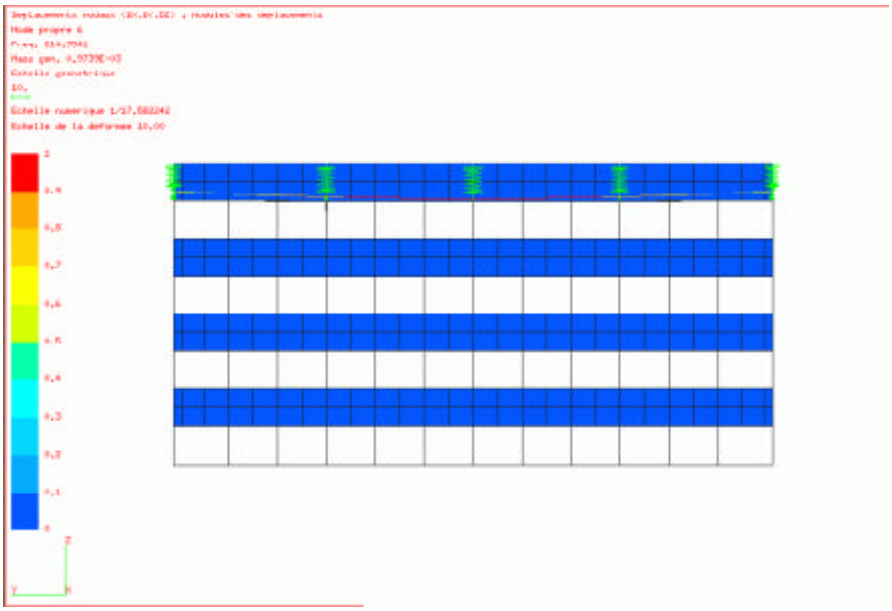


Frequency 3 (10.73 Hertz) : Rotation About Y-Axis

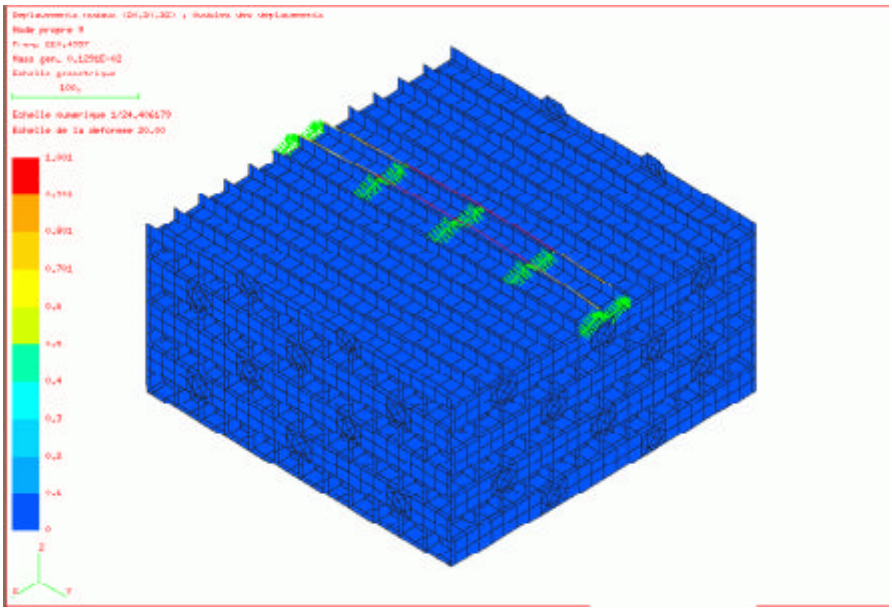


Modes n°4 and n°5 (106.09 Hertz): Local Modes on the Bars (Displacement Following Y)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

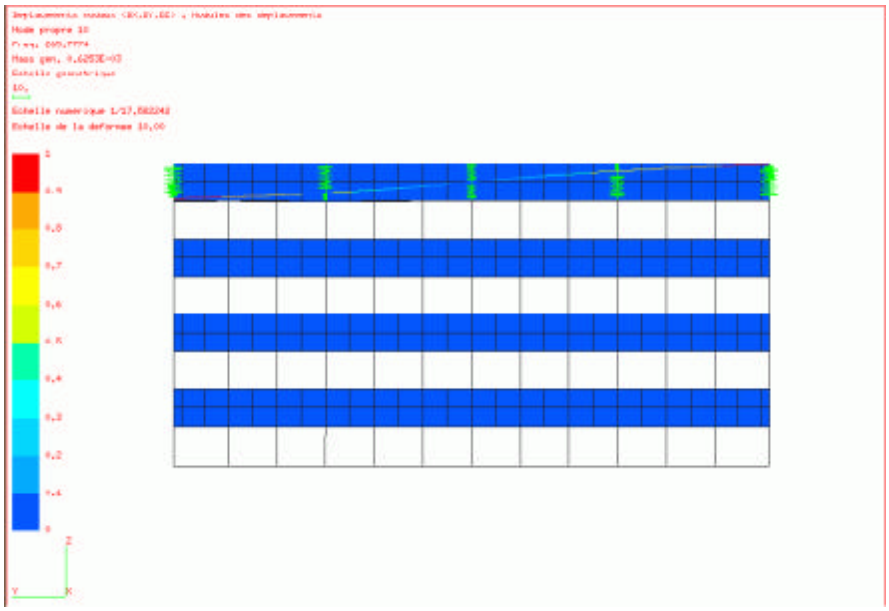


Modes n° 6 and n°7 (215 Hertz): Local Modes on the Bars (Coupling, Inflection Following Y and Z)



Frequency 8 and 9 (220 Hertz): Local Mode on the Bars (Inflection According to X)

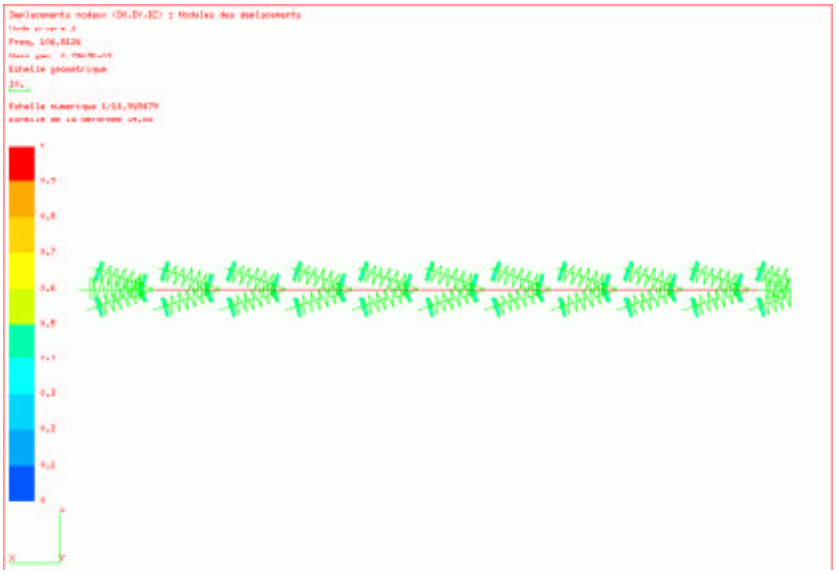
Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



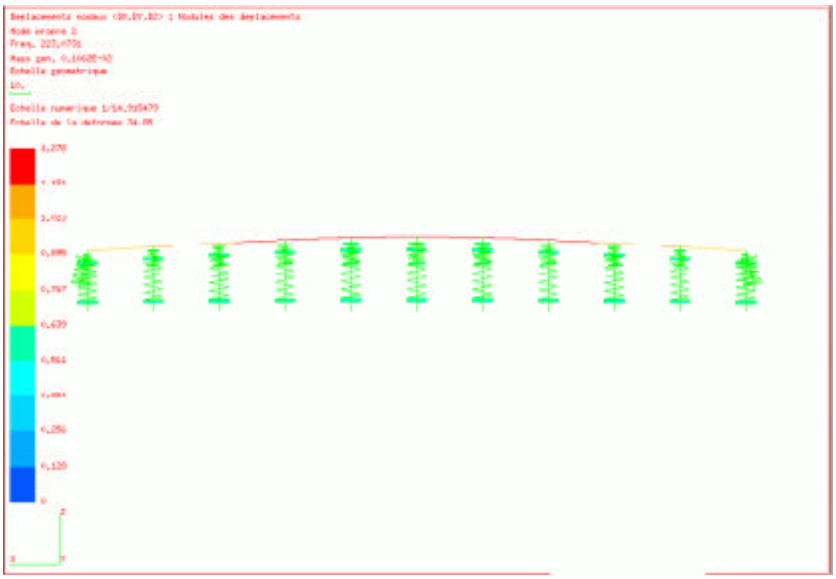
N°10 Mode (266 Hertz): Local Mode on the Bars (Inflection According to Z, with a Node of Vibration)

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

The normal modes of the bar is verified by modeling a single bar with 2 times more transverse springs (of stiffness 2 times lower). The results are presented in the following plots:

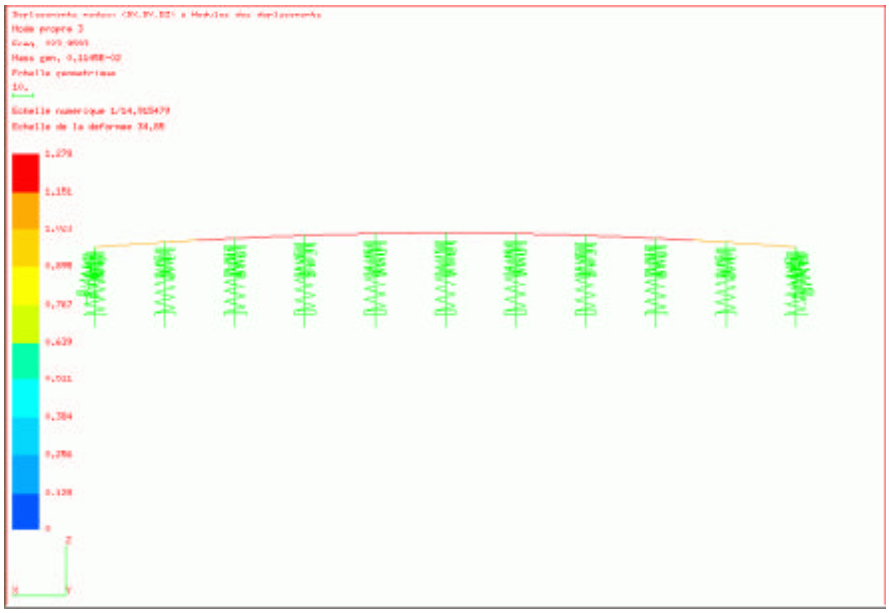


Frequency 1 (106.8 Hertz): Displacement Following Y

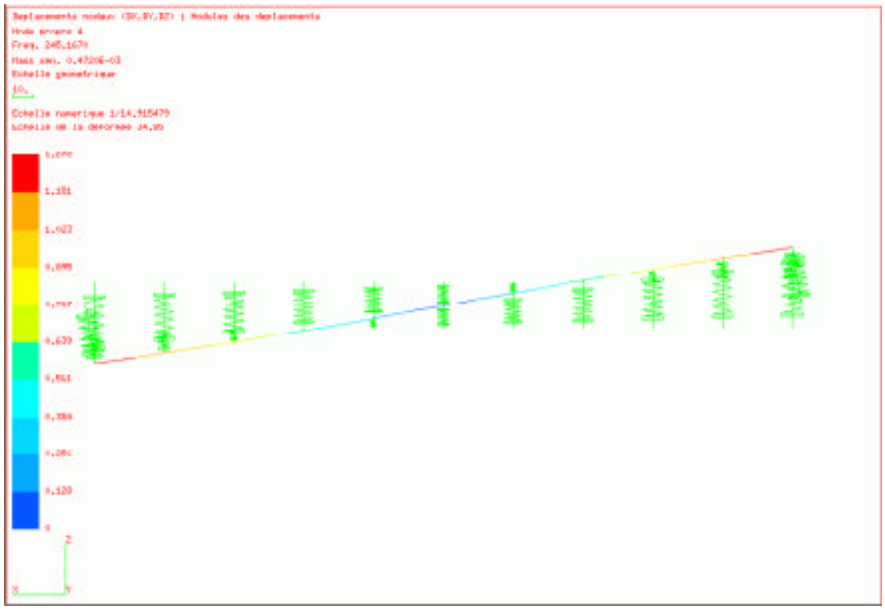


Frequency 2 (223 Hertz): Coupling, Inflection Following Y and Z

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



Frequency 3 (224 Hertz): Coupling, Inflection Following y and Z



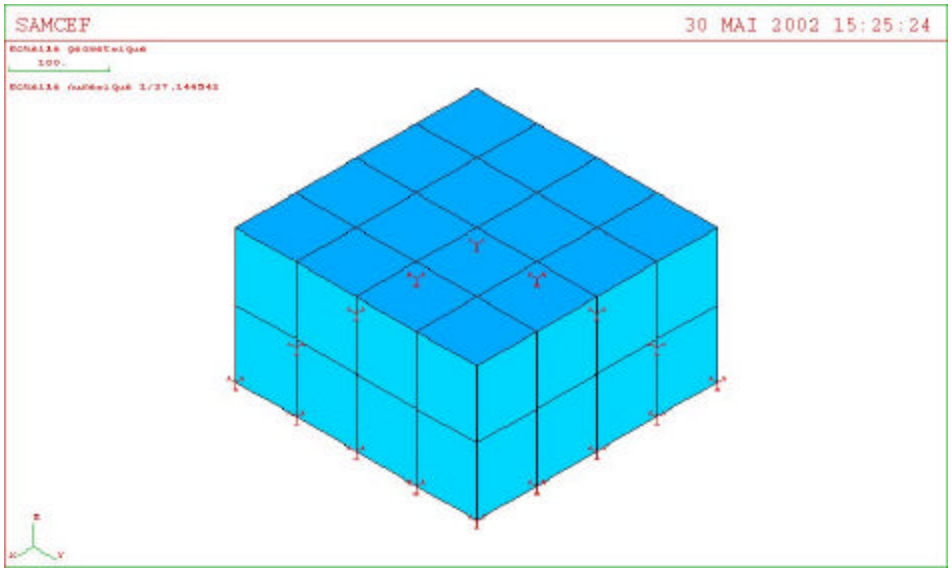
Frequency 4 (245.2 Hertz): Inflection According to Z, with a Node of Vibration

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

9°) EQUIVALENT MODEL :

The current model of the calorimeter is too fine and thus too bulky to be integrated directly in the total model of the satellite. The goal is thus to carry out a model very simplified of that Ci readjusted as well as possible compared to the total thermomechanical behavior of the initial model.

The model carried out in thin hulls is as follows (fixings are represented in red):

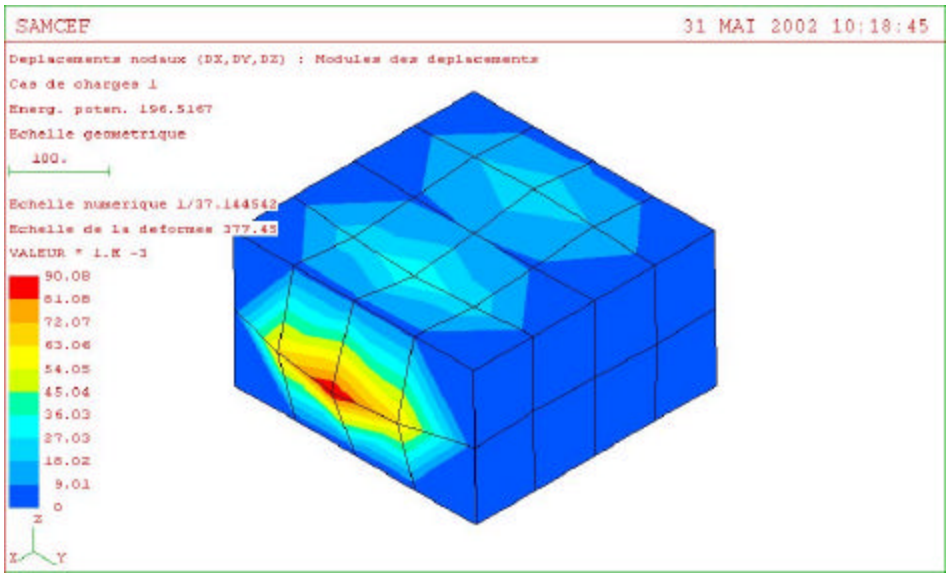


To carry out retiming, we used following methodology:

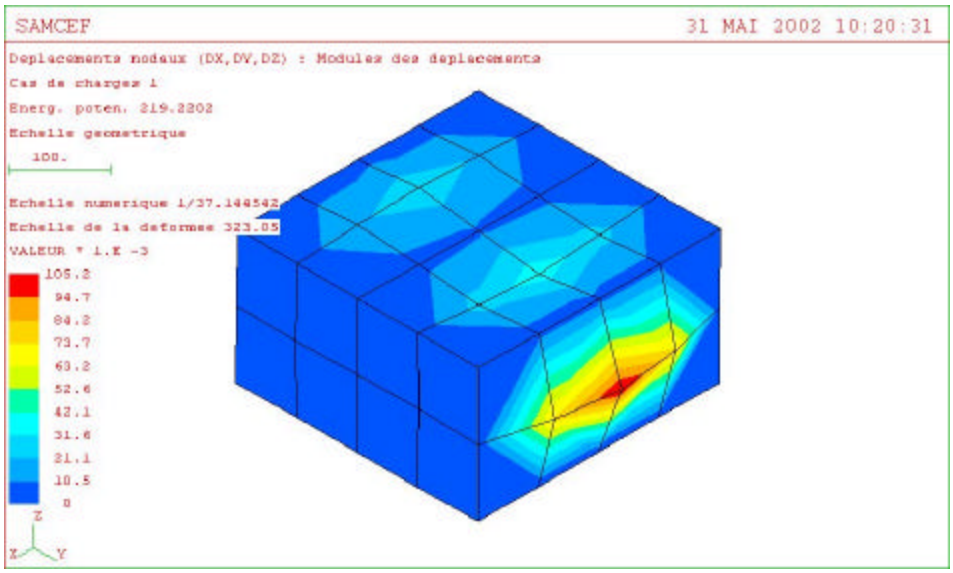
- Taken again various calculations of the model of the calorimeter
- For each calculation, edition of the deformations on the nœuds located at the level of the corners and the mediums of faces.
- Search of the maximum deformations.
- Calculations on the model is equivalent.
- For each calculation, edition of the deformations on the nodes located at the level of the corners and the mediums of faces.
- Correction of the characteristics materials of the faces of the model is equivalent in order to fall down on the values of the total model.

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

images Ci below show the results of calculations obtained after retiming:

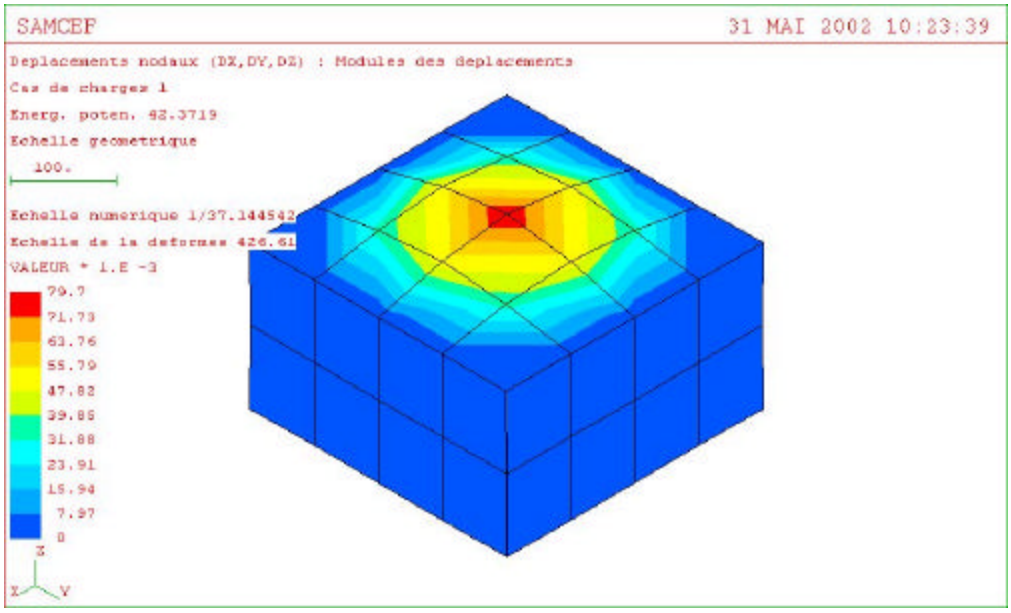


Equivalent Model – 12 G on X, Module of Displacements

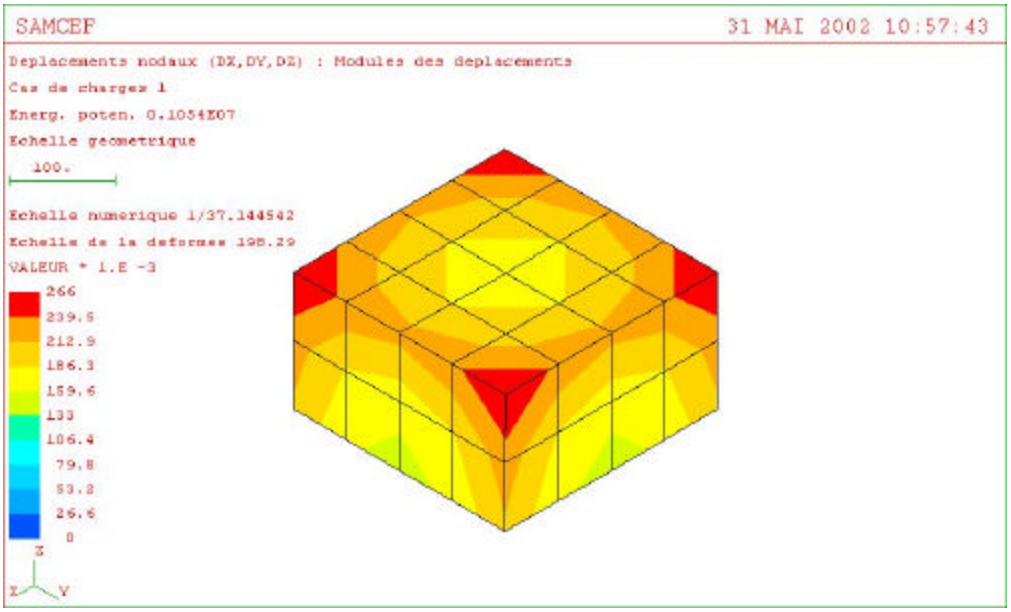


Modèle équivalent – 12 G sur Y, Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



Modèle équivalent – 12 G sur Z, Module des déplacements



Modèle équivalent – DELTA T –65°C, Module des déplacements

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

Table Ci below indicates the mechanical characteristics of the various faces of the equivalent model:

	Face inf	Face sup	Face suivant X	Face suivant Y
YT	200000 MPa	200000 MPa	200000 MPa	200000 MPa
G	76923 MPa	76923 MPa	76923 MPa	76923 MPa
NU	0.30	0.30	0.30	0.30
A	13.36E-06 °C-1	13.36E-06 °C-1	13.36E-06 °C-1	13.36E-06 °C-1
M	9 861.6E-12 t/mm3	10 931.2E-12 t/mm3	62 007.7E-12 t/mm3	57 066.9E-12 t/mm3
Epaisseur	5.0000 mm	4.5108 mm	4.9981 mm	5.4309 mm

In order to facilitate calculations, we especially exploited the thickness of the faces.

10°) CONCLUSIONS

In statics under 12 G, the model is readjusted seems T-it rather correctly with the tests on X and Y, the variation on Z can come from a problem of measurement but also as the modal analysis of an influence of the bars shows it which could disturb the signal of the accelerometer placed at the center of the higher face.

In all the cases the deformation is very weak and thus does not present a danger compared to the operation of the structure in the grid (not of risks of interferences).

In the same way the safety margins within the meaning of Tsai-Hill remain all definitely positive what guaranteed a correct operation of the structure on the total level. It will be advisable to look at on the other hand more in detail the local behavior of the inserts to supplement this study.

The thermomechanical behavior is most critical in term of margins of Tsai-Hill but remains acceptable more especially as we exceed the terminals fixed by the specification. It is finally advisable to specify that the mode of representation of the connections concerned local is undoubtedly pessimistic in this particular case.

In term of modal analysis, the influence of the bars is dominating and even if these calculations did not show a direct interaction between the 2 higher bars and the higher face, there is extremely to bet that this one exists since in our model no contact barreau/face is possible whereas in reality it is the case taking into account the weak play.

In term of modal analysis, the Cesium bars is the dominating influence. Although the calculations do not show a direct interaction between the 2 higher Cesium bars and the higher face, there is a high probability that this direct interaction exists. Contact between the Cesium bar and face was not possible to model. However, in reality this must be accounted for.

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

The shift to the top of the frequency of 180 Hz measured with a little more than 200 Hz being little explained by the fact that our springs are symmetrical and work indifferently in traction and compression in a linear way. In reality the snap ring silicone works only in compression. The stiffness is then lower.

The shift to the top of the frequency of 180 Hz measured with a little more than 200 Hz being little explained by the fact that the modeled springs are linearly symmetrical and work similarly in tension and compression. However, in reality the silicone cords only work in compression. Therefore, stiffness is then lower.

With regard to the horizontal fashion of adjustment of the bars which accounts for approximately 106 Hz, that Ci is lower than the value measured most probably because of the longitudinal stiffness generated by the contact joncs/barreau on the 4 with dimensions ones which comes to be added to the longitudinal stiffness within the competence of end. It is possible also that the modeling of the recovery on the face is a little pessimistic what would tend to reduce the frequency.

With regard to the horizontal movement of the bars which accounts for approximately 106 Hz, that Ci is lower than the measured value most probably because of the longitudinal stiffness generated by the contact elastic cords/Cesium bars on the 4 with dimensions ones which comes to be added to the longitudinal stiffness within the competence of end. It is possible also that the modeling of the recovery on the face is a little pessimistic what would tend to reduce the frequency.

In all the cases it would be advisable to be able to look of much readier the dynamic response of a bar in a cell because the risk of request of the latter is far from being negligible.

In all the cases it would be advisable to be able to look of much readier the dynamic response of a bar in a cell because the risk of request of the latter is far from being negligible.

Lastly, with regard to the model simplified, on a total level retiming in term of displacements is relatively moderate:

0.0908 per 0,183 mm on X but the positioning of the maximum deformation are not good
0,1052 per 0,167 mm on Y but the positioning of the maximum deformation is not good.
0.0797 per 0.0797 on Z with a correct positioning of the zone of principal deformation.

Lastly, with regard to the model simplified, on a total level retiming in term of displacements is relatively moderate:

0.0908 per 0,183 mm on X but the positioning of the maximum deformation are not good
0,1052 per 0,167 mm on Y but the positioning of the maximum deformation is not good.
0.0797 per 0.0797 on Z with a correct positioning of the zone of principal deformation.

0,0266 per 0,0324 with a delta T of –65°C but there too we compare a total phenomenon compared to a local phenomenon what complicates the comparison.

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

0,0266 per 0,0324 with a delta T of –65°C but there too we compare a total phenomenon compared to a local phenomenon what complicates the comparison.

This is explained by the difficulty in reconciling the local and total aspects which are present in a simultaneous way in the total model. If we must go further, it would be advisable to define priorities to refine retiming in certain points only what would be a little simpler.

This is explained by the difficulty in reconciling the local and total aspects which are present in a simultaneous way in the total model. If we must go further, it would be advisable to define priorities to refine retiming in certain points only what would be a little simpler.

D.PUJOL

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

ANNEXE 01
Système d'unités :

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

Dans tous les documents, nous utiliserons un système d'unité cohérent avec le système SI mais plus adapté à nos besoins. Ce système est basé sur le millimètre, la tonne, la seconde et le newton.

Grandeur	Unité	Symbole
1°) Unités géométriques		
Longueur	Le millimètre	mm
Surface	Le millimètre carré	mm^2
Volume	Le millimètre cube	mm^3
Angle	Le radian	rad
2°) Unités mécaniques		
Masse	La tonne	t
Masse volumique	La tonne par millimètre cube	t/mm^3
Temps	La seconde	s
Fréquence	Le Hertz	Hz
Vitesse	Le millimètre par seconde	mm/s
Accélération	Le millimètre par seconde carrée	mm/s^2
Force	Le Newton	N
Pression/Contrainte	Le Newton par millimètre carré	N/mm^2 (MPa)
Moment d'inertie	Le Newton millimètre	N.mm
Travail d'une force	Le milli joule	mJ

- Unités utilisées -

Dans le système mm, N et seconde, l'unité de masse est la tonne, en effet nous avons :

$$[\text{Masse}] = \frac{[\text{force}]}{[\text{accélération}]} = 1 \qquad \text{N} * \frac{\text{s}^2}{\text{mm}} = 10^3 \qquad \text{kg} = 1 \qquad \text{tonne}$$

L'unité de masse volumique est donc la $tonne/mm^3$, celle du moment d'inertie la $tonne.mm^2$.

Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

Certaines grandeurs sont également mentionnées, en complément, dans une unité plus significative ou «traditionnellement» utilisée, afin de permettre une meilleure estimation des phénomènes.

Le tableau suivant mentionne les autres unités utilisées et les relations entre celles-ci et le système mm, N, s, t.

Grandeur	**Unité**	**Symbole**	**Valeurs dans le système (mm, N, s, t)**
1°) Unités géométriques			
Angle	Le degré	°	0,0175 rad
2°) Unités mécaniques			
Masse	Le kilogramme	kg	0,001 t
Masse linéique	Le tex	tex (g/km)	1E-12 t/mm
Masse surfaciques Masse volumique	Le gramme par mètre carré Le kilogramme par mètre cube	g/m^2 kg/m^3	1E-12 t/mm^2 1E-12 t/mm^3
Vitesse	Le mètre par seconde	m/s	1 000 mm/s
Accélération	Le mètre par seconde carrée	m/s^2	1 000 mm/s^2
Force	Le décanewton	daN	10 N
Moment d'inertie Moment d'une force	Le kilogramme mètre carré Le newton mètre	$kg.m^2$ N.m	1 000 $t.mm^2$ 1 000 N.mm
Moment d'une force	Le décanewton mètre	daN.m	10 000 N.mm
Travail d'une force	Le Joule	J	1 000 mJ
Travail d'une force	Le kilo Joule	kJ	1 000 000 mJ
Travail d'une force	Le Mega Joule	MJ	1E+09 mJ

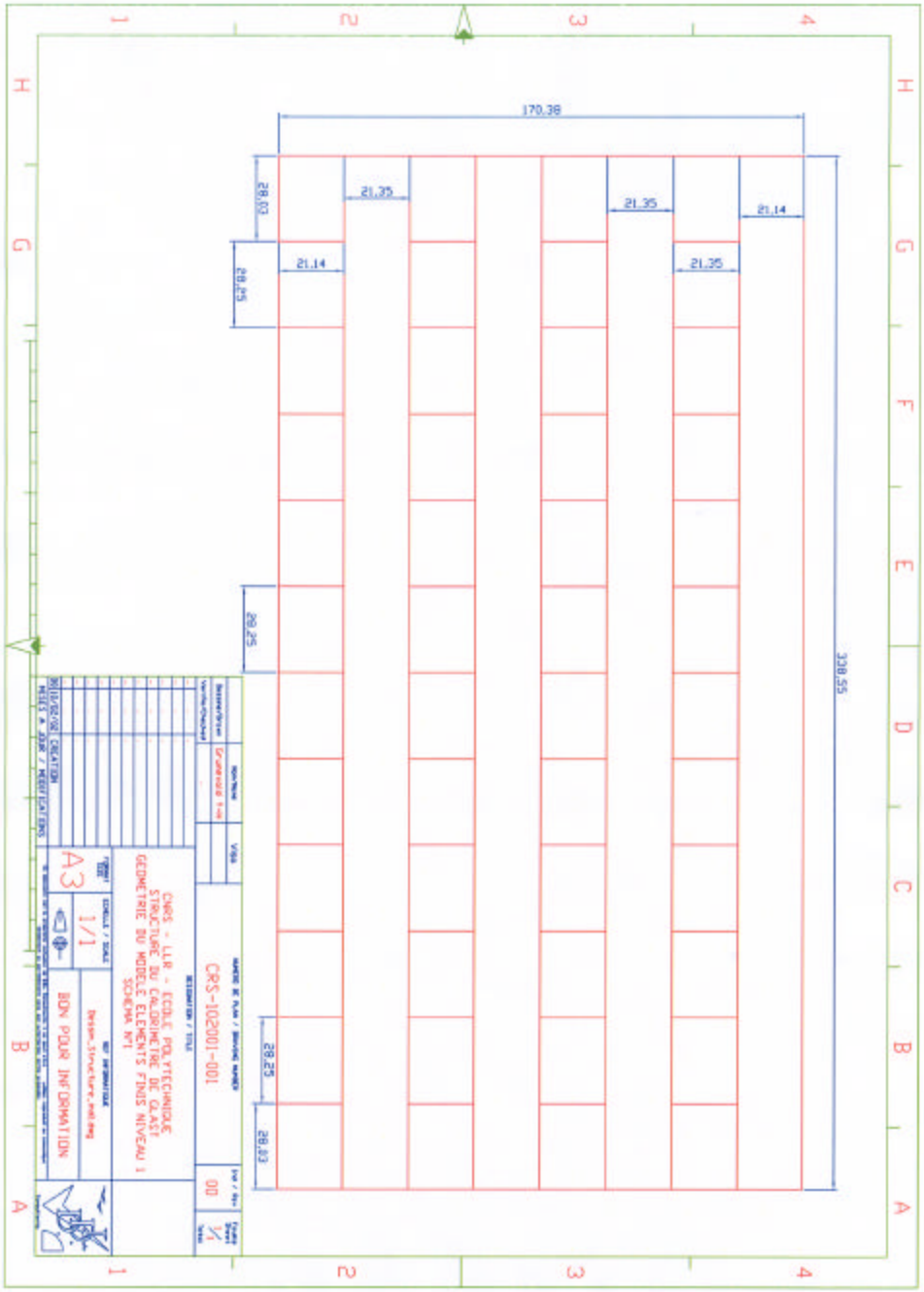
- Autres unités utilisées -

La valeur de l'accélération de la pesanteur est prise à 9,81 m/s^2 soit 9810 mm/s^2.

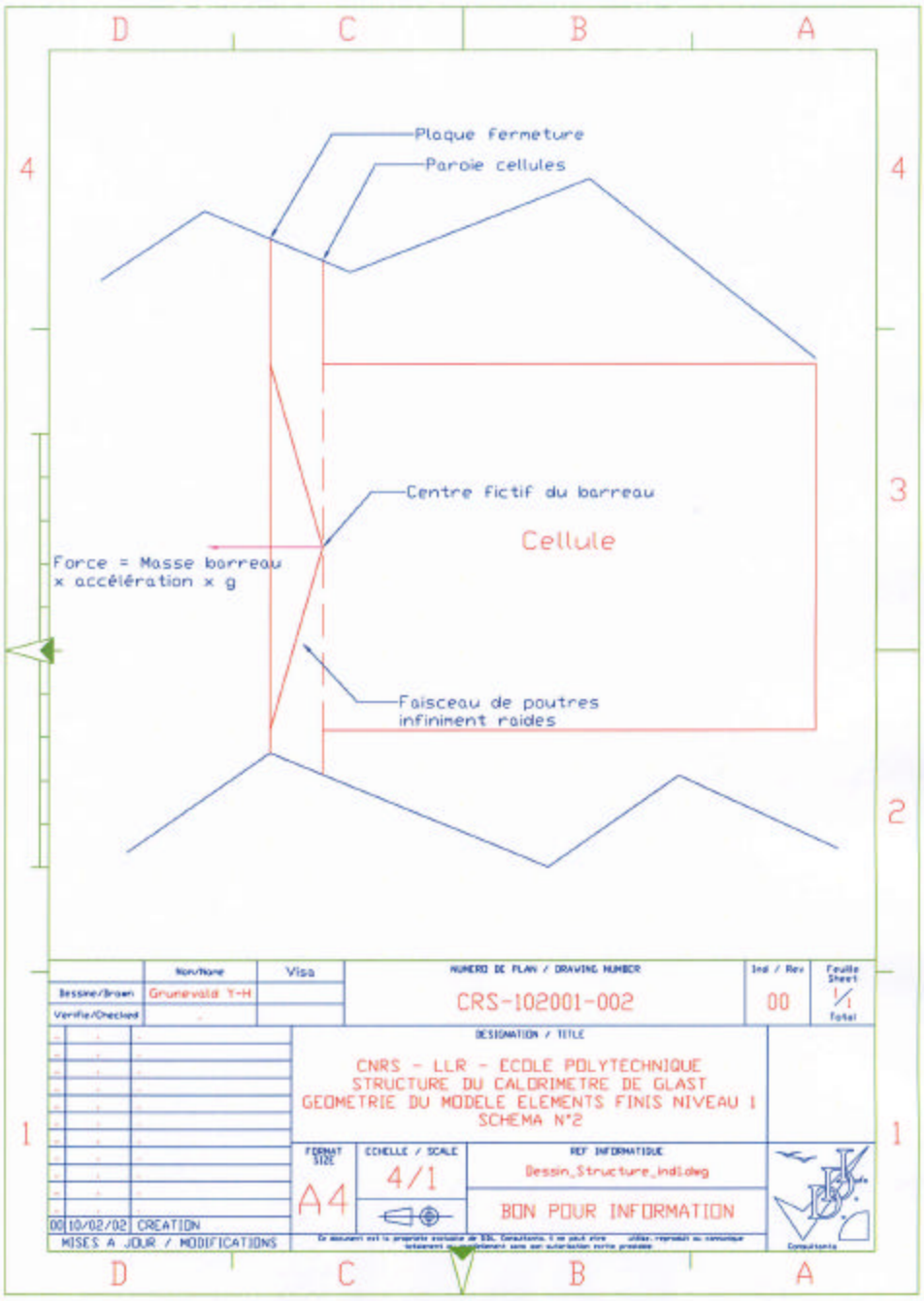
Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.

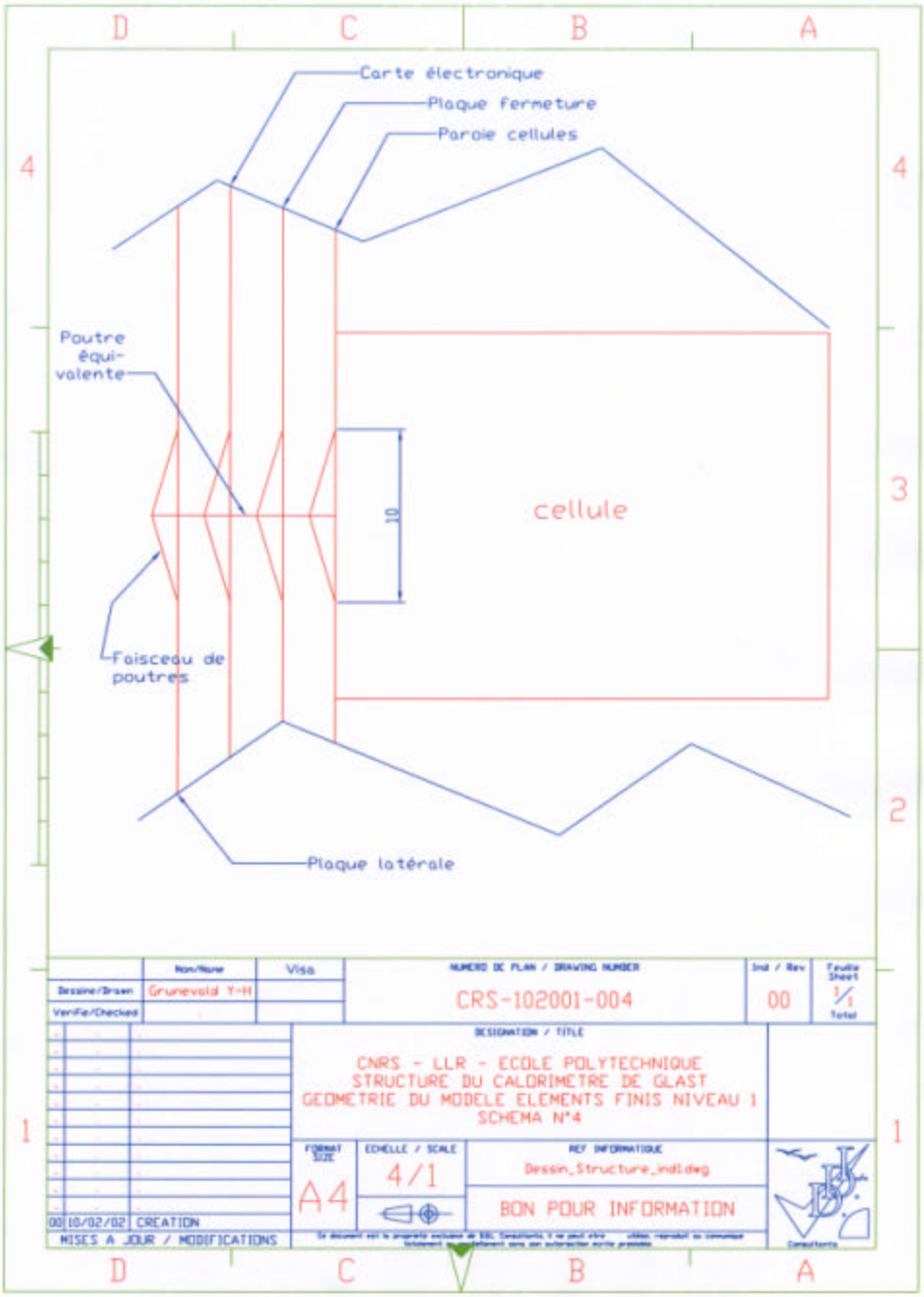
APPENDIX 02
Geometry of the Model:

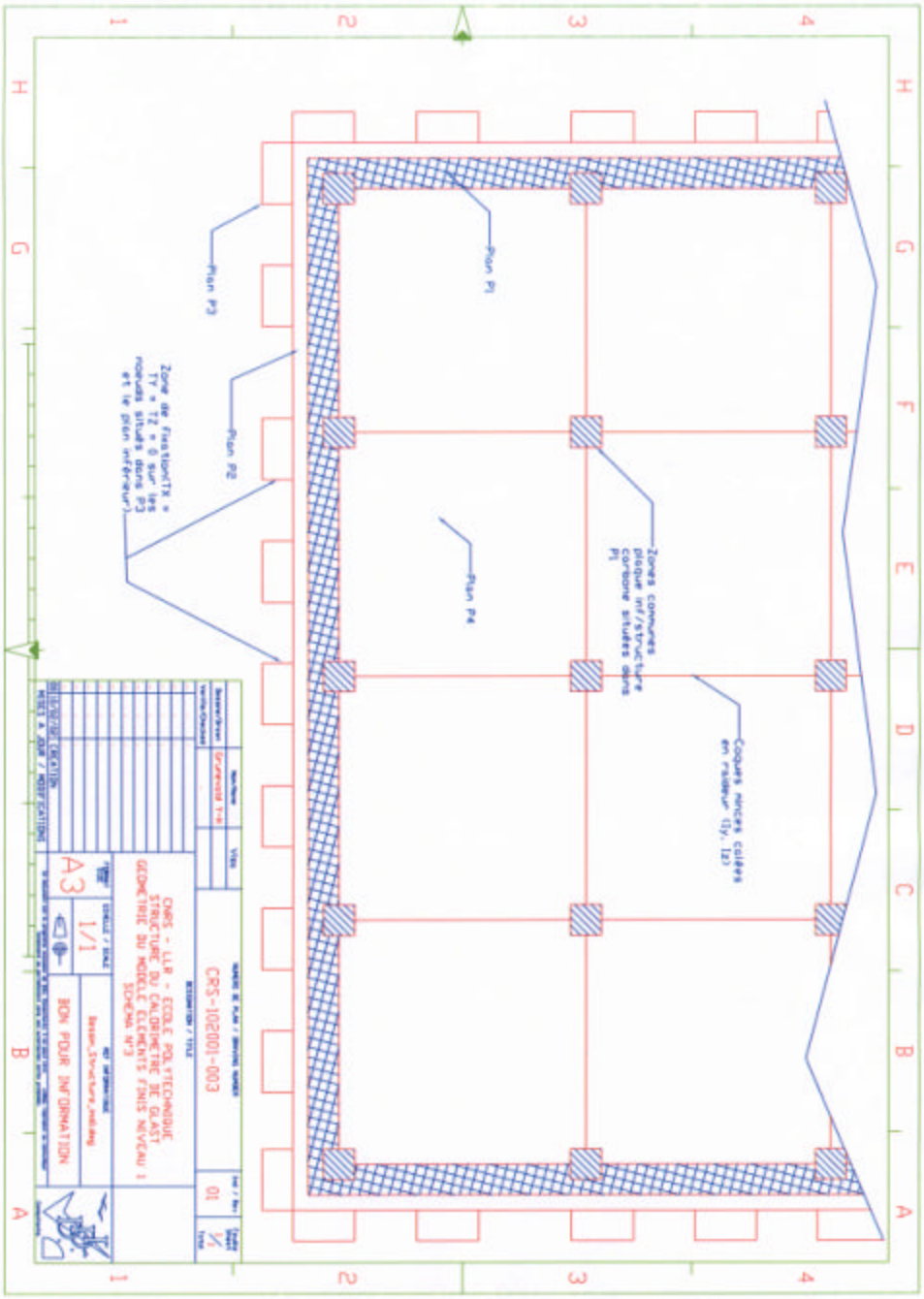
Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.



Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.


Plaque fermeture
Paroie cellules
Centre fictif du barreau
Cellule
Force = Masse barreau
x accélération x g
Faisceau de poutres
infiniment raides
Non/None
Visa
Dessine/Drawn
Grunevald Y-H
Verifie/Checked
NUMERO DE PLAN / DRAWING NUMBER
CRS-102001-002
Ind / Rev
00
Feuille Sheet
1/1
Total
DESIGNATION / TITLE
CNRS - LLR - ECOLE POLYTECHNIQUE
STRUCTURE DU CALORIMETRE DE GLAST
GEOMETRIE DU MODELE ELEMENTS FINIS NIVEAU 1
SCHEMA N°2
FORMAT SIZE
A4
ECHELLE / SCALE
4/1
REF INFORMATIQUE
Dessin_Structure_ind1.dwg
BON POUR INFORMATION
00 10/02/02 CREATION
MISES A JOUR / MODIFICATIONS


Carte électronique
Plaque fermeture
Paroie cellules
Poutre équi-valente
cellule
10
Faisceau de poutres
Plaque latérale
Dessiné/Drawn
Grunevald Y-H
Vérifié/Checked
Visa
NUMERO DE PLAN / DRAWING NUMBER
CRS-102001-004
Ind / Rev
00
Feuille Sheet
1/1
Total
DESIGNATION / TITLE
CNRS - LLR - ECOLE POLYTECHNIQUE
STRUCTURE DU CALORIMETRE DE GLAST
GEOMETRIE DU MODELE ELEMENTS FINIS NIVEAU 1
SCHEMA N°4
FORMAT SIZE
A4
ECHELLE / SCALE
4/1
REF INFORMATIQUE
Dessin_Structure_ind1.dwg
BON POUR INFORMATION
00 10/02/02 CREATION
MISES A JOUR / MODIFICATIONS



Ce document est la propriété exclusive de la société **D.D.L. Consultants** Il ne peut être communiqué, reproduit ou utilisé totalement ou partiellement sans son autorisation écrite.