

Simulation 3D thermomecanique de la plaque d'extremite a 8m du RFQ d'IPHI

F. Launay

▶ **To cite this version:**

F. Launay. Simulation 3D thermomecanique de la plaque d'extremite a 8m du RFQ d'IPHI. 2003, pp.20. in2p3-00014194

HAL Id: in2p3-00014194
https://hal.in2p3.fr/in2p3-00014194

Submitted on 3 Dec 2003

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IPNO 03-07

Simulation 3D thermomécanique de la plaque d'extrémité à 8m du RFQ d' IPHI.

François Launay

ETUDE 3D THERMOMECANIQUE DE LA PLAQUE DE FERMETURE A 8M DU RFQ D'IPHI

François Launay *

Octobre 2003

Résumé

Une étude thermomécanique de la plaque d'extrémité du RFQ et de la barre de stabilisation dipolaire associée (Figure 1) a été menée. Le but est de prévoir sur ces pièces les températures atteintes, les contraintes et les déformations attendues lors du fonctionnement nominal du RFQ d'IPHI.

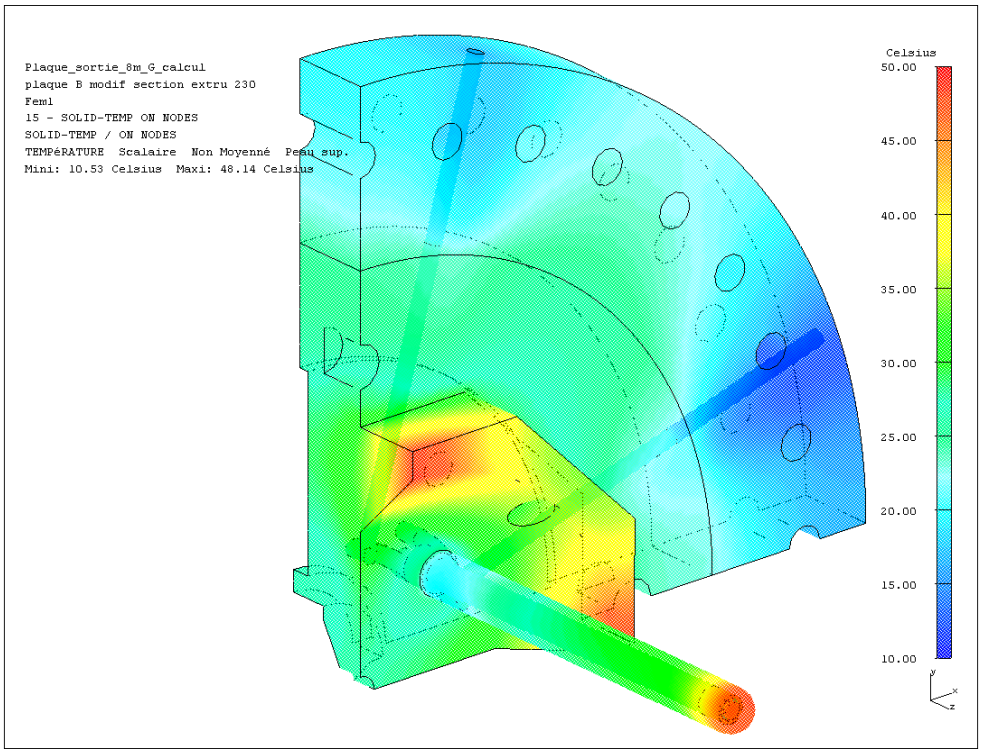


Figure 1.Températures de la plaque : 10°C à 48°C.

* CNRS/IN2P3/IPNO/DA 91406 Orsay Cedex. (launayf@ipno.in2p3.fr)

Sommaire.

1. Introduction. 4
2. Etude thermomécanique. 5
2.1. Généralités 5
2.2. Transfert des densités de puissance. 7
2.3. Calcul thermique fluidique. 8
2.4. Calcul mécanique 14
2.5. Commentaires. 17
Références 19
Annexe. 20

1. Introduction.

Cette étude se situe dans le contexte du projet d'accélérateur fort courant IPHI (Injecteur de Protons Haute Intensité). Le comportement thermomécanique des cavités RF de forte puissance est un des problèmes majeurs rencontrés dans la phase de conception d'accélérateurs, en particulier ceux de type RFQ (Radio Frequency Quadrupole). La géométrie du RFQ est du type « 4 vanes » [1].

La plaque de fermeture (Figure 2) est un des éléments du RFQ, soumise à des densités de puissance RF élevées, ainsi que l'ont montré des simulations électromagnétique 3D réalisées par P. Balleyguier avec le code MAFIA [2].

Nous présentons les résultats de simulations thermomécaniques effectuées avec le code de calcul I-DEAS [3] couplé de manière automatique en amont avec le code MAFIA selon les procédures décrites dans [4].

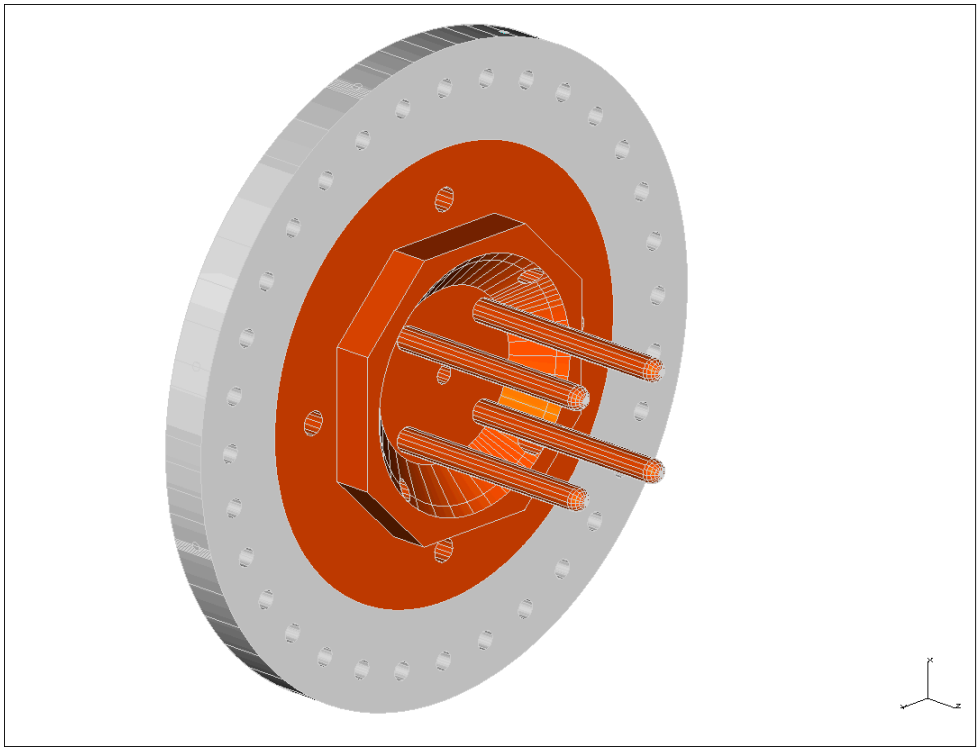


Figure 2 : Plaque d'extrémité du RFQ avec sa bride.

2. Etude thermomécanique.

2.1. Généralités.

Un quart de la plaque d'extrémité à 8m du RFQ a été modélisé avec le logiciel I-DEAS. Le modèle comporte la plaque de cuivre avec sa barre de stabilisation associée, la bride en inox et le circuit de refroidissement (Figure 3 et Figure 4).

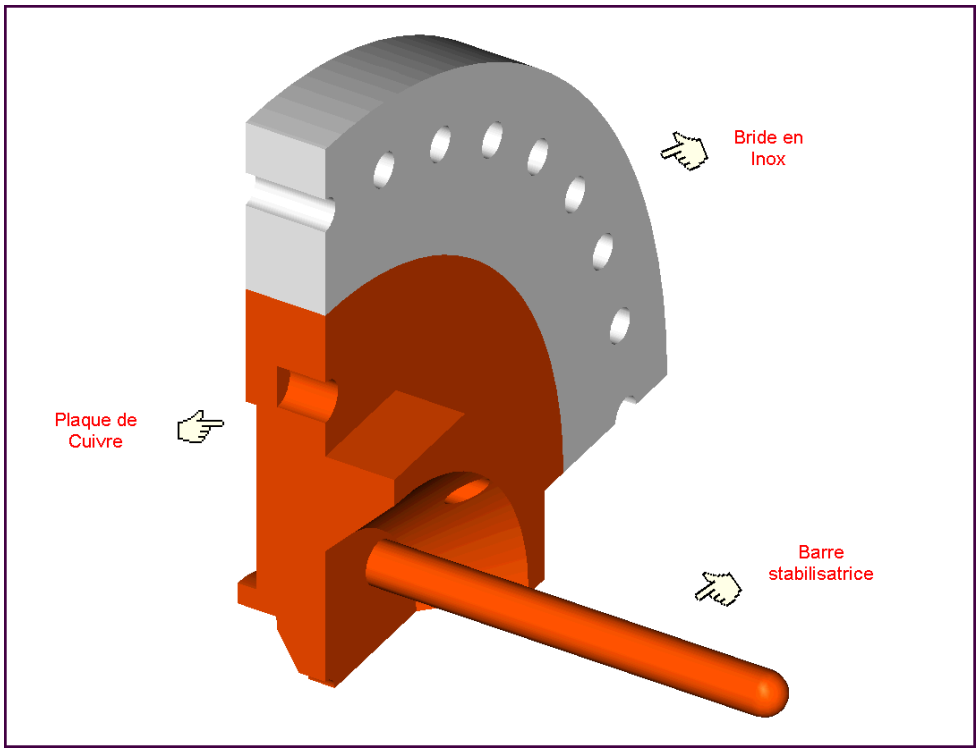


Figure 3. Modèle d'un quart de plaque de fermeture équipée de sa bride.

Les calculs de thermomécanique sont réalisés et se déroulent en trois étapes :

- Transfert automatique [4] des densités de puissance calculées par le code MAFIA sur le maillage du modèle I-DEAS voir Figure 5.

- En imposant des conditions aux limites de vitesse et de température à l'entrée du circuit hydraulique, un calcul couplé thermique-fluidique donne les températures dans le modèle.

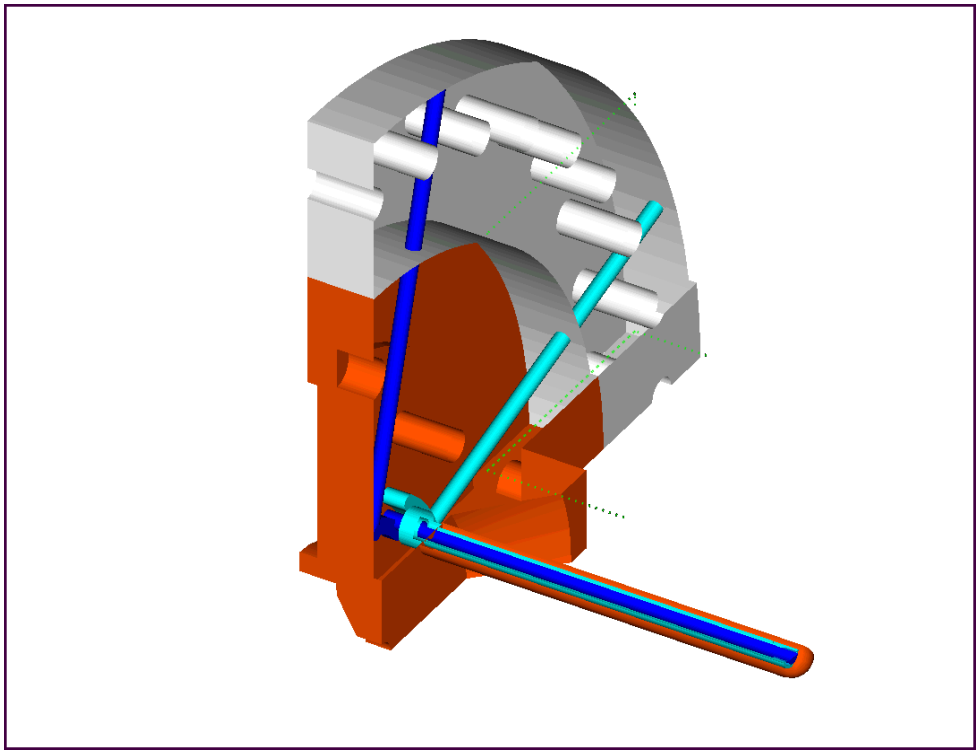


Figure 4. Circuit de refroidissement dans la plaque.

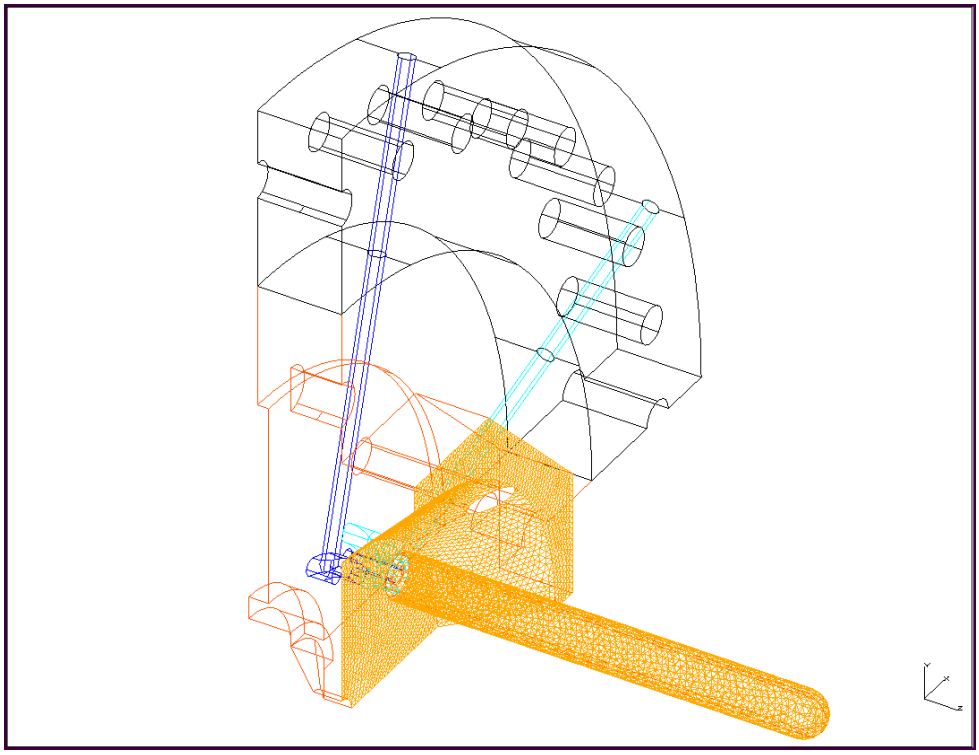


Figure 5. Surfaces maillées recevant les densités de puissance.

- Pour le calcul mécanique on applique les températures issues du calcul précédent et on ajoute les conditions aux limites de symétries et de blocages voir Figure 6.

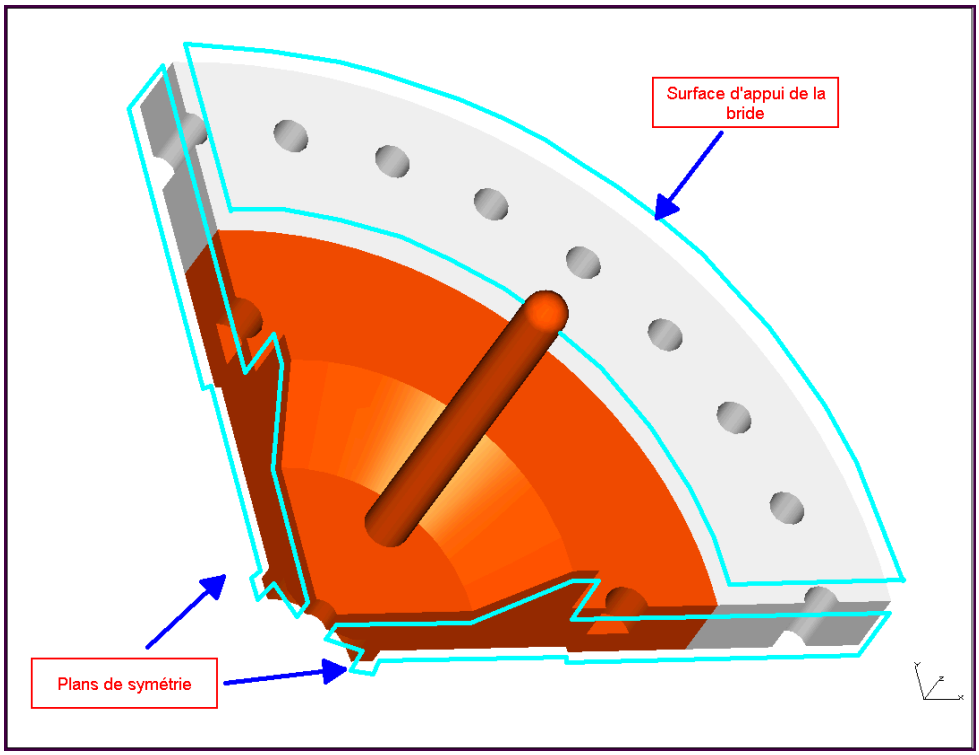


Figure 6. Conditions aux limites mécaniques.

2.2. Transfert des densités de puissance.

Le transfert du flux (ou densité de puissance) entre MAFIA et I-DEAS s'effectue via le programme MAPFLUX [5]. Pour cette étude, les densités de puissance sont transférées, avec une interpolation sur 4 points, sur des surfaces maillées comportant 7861 éléments de type coque et 4034 nœuds.

Pour un quart de plaque (cas de calcul MAFIA c5725 Annexe) la puissance intégrée est de 1730 W. Les densités de puissance surfaciques vont de $1.5*10^2$ à $3.9*10^5$ W/m^2 voir Figure 7.

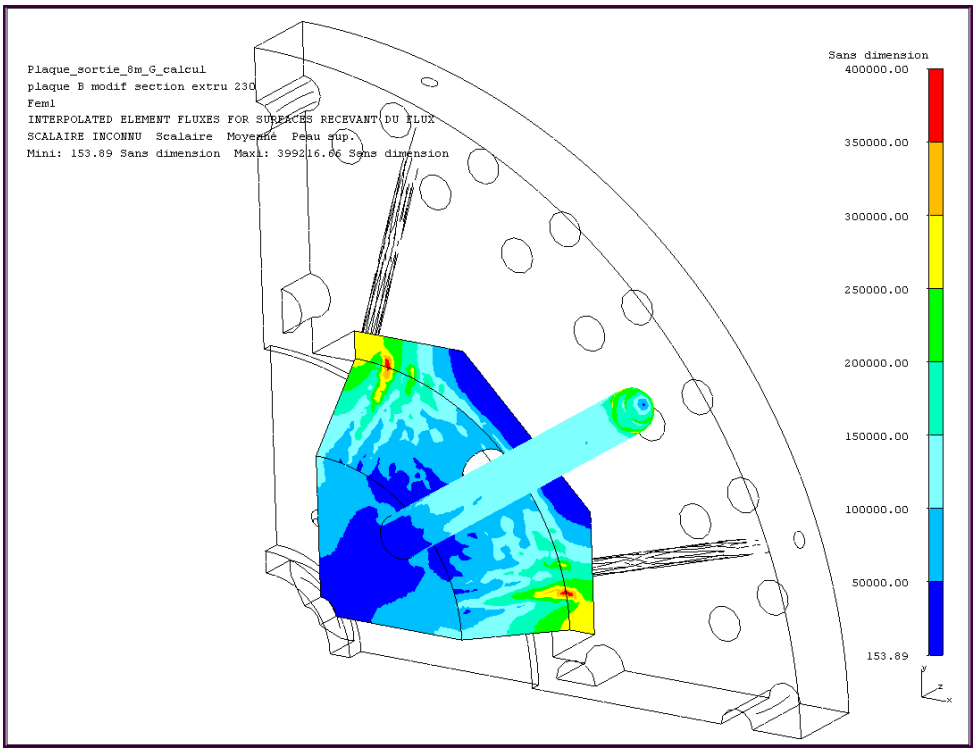


Figure **7**. Densités de puissance transférées dans le modèle I-DEAS.

2.3. Calcul thermique fluidique.

Les calculs sont réalisés en régime statique, linéaire, sur un modèle de 54832 nœuds et 232014 éléments.
Le circuit hydraulique nécessaire au refroidissement de la plaque se compose d'un circuit externe et d'un circuit interne voir Figure 8. La jonction entre les deux circuits se fait à l'extrémité de la barre voir Figure 9.

Trois cas correspondants à des conditions de refroidissement différent sont étudiés :

- Cas n°1 : Entrée d'eau sur le circuit externe, et sortie sur le circuit interne, la vitesse de l'eau en entrée est de 5 m/s, à la température de 10°C.

- Cas n°2 : Entrée d'eau sur le circuit externe, et sortie sur le circuit interne, la vitesse de l'eau en entrée est de 2,5 m/s, à la température de 10°C.

- Cas n°3 : Permutation entrée/sortie soit l'entrée d'eau sur le circuit interne, et la sortie sur le circuit externe, vitesse de l'eau en entrée est de 2,5 m/s, à la température de 10°C.

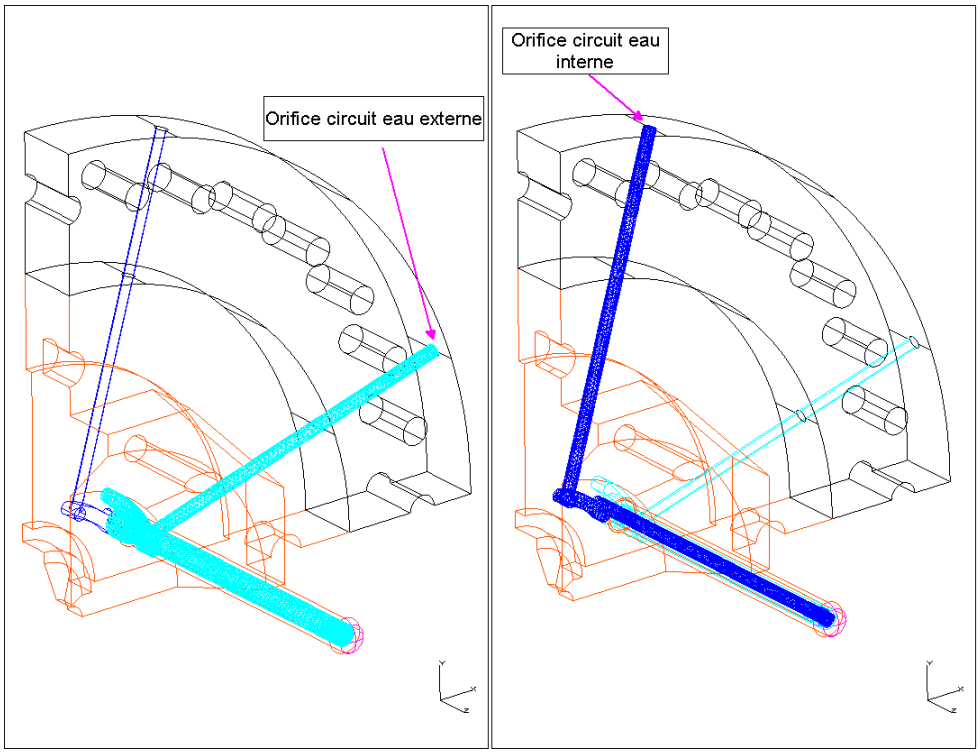


Figure **8**.Vue du circuit hydraulique de refroidissement.

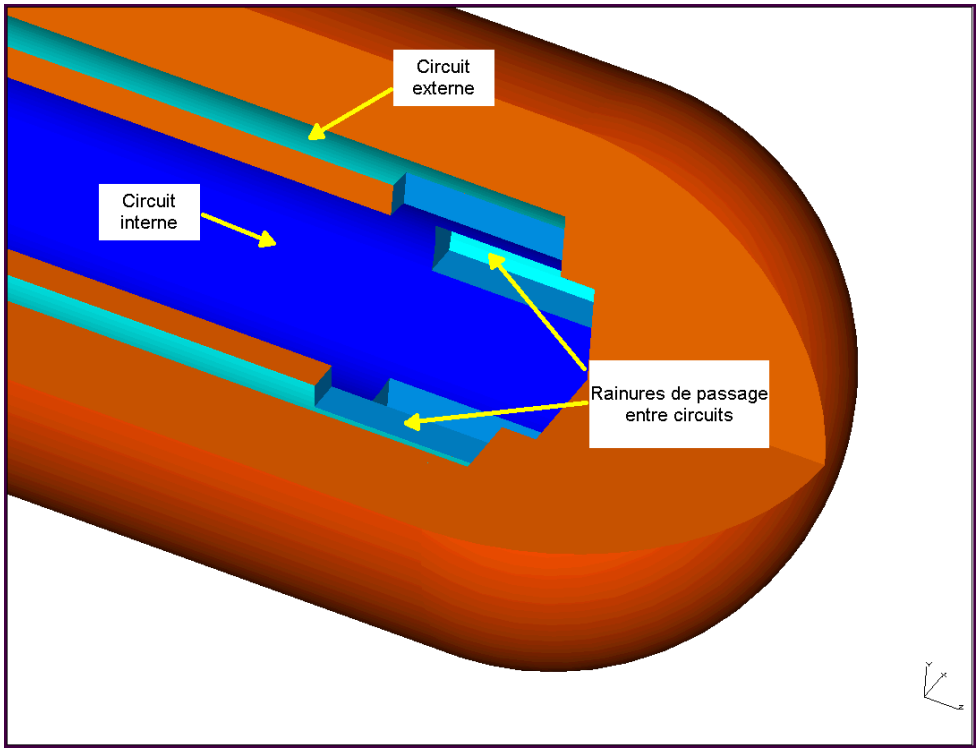


Figure **9**. Vue de la jonction entre les circuits externe et interne.

Les résultats de ces trois cas de calcul sont résumés dans le Tableau 1, avec les renvois vers les figures correspondantes.

Les maxima de températures sont situés dans la zone dite « surépaisseur » et en extrémité de la barre stabilisatrice.

Lorsque l'on passe du cas n°1 au cas n°2 (le débit de l'eau est divisé par deux), le delta T de l'eau augmente de 3 °C et dans le même temps la température maximale dans le cuivre augmente de 7 °C.

Pour le cas n°3 le changement de sens dans l'écoulement du fluide, avec le même débit que dans le cas n°2, n'apporte pas de changement sur la valeur maximale de température, mais en revanche les gradients de température sont inversés entre l'entrée et la sortie (Figure 15) et ils sont modifiés pour le pied de barre et l'extrémité de la barre.

	Cas n°1 v : 5 m/s@10°C débit volumique 1,414*10-4 m^3/s	Cas n°2 v : 2,5 m/s@10°C débit volumique 0,707*10-4 m^3/s	Cas n°3 Inversion E/S v : 2,5 m/s@10°C débit volumique 0,707*10-4 m^3/s
Températures de l'eau en °C Entrée Sortie Voir	 **10** **13,04** Figure 10	 **10** **16,08** Figure 10	 **10** **16,28** Figure 11
Vitesse maximale de l'eau en m/s voir	**6,97** Figure 12	**3,48** Figure 12	**3,02** Figure 13
Températures des éléments solides en °C Min Max voir	 **10,17** **41,32** Figure 14	 **10,53** **48,14** Figure 14	 **10,50** **49,66** Figure 15

Tableau 1. Résultats des calculs fluidiques thermiques.

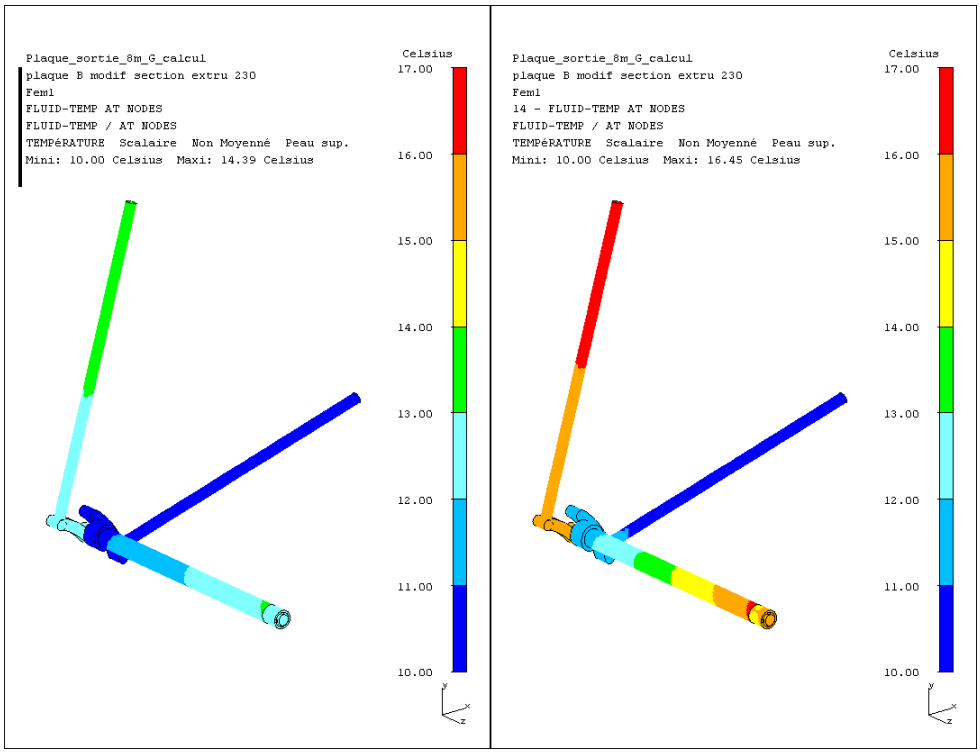


Figure 10.Température de l'eau cas n°1 et cas n°2.

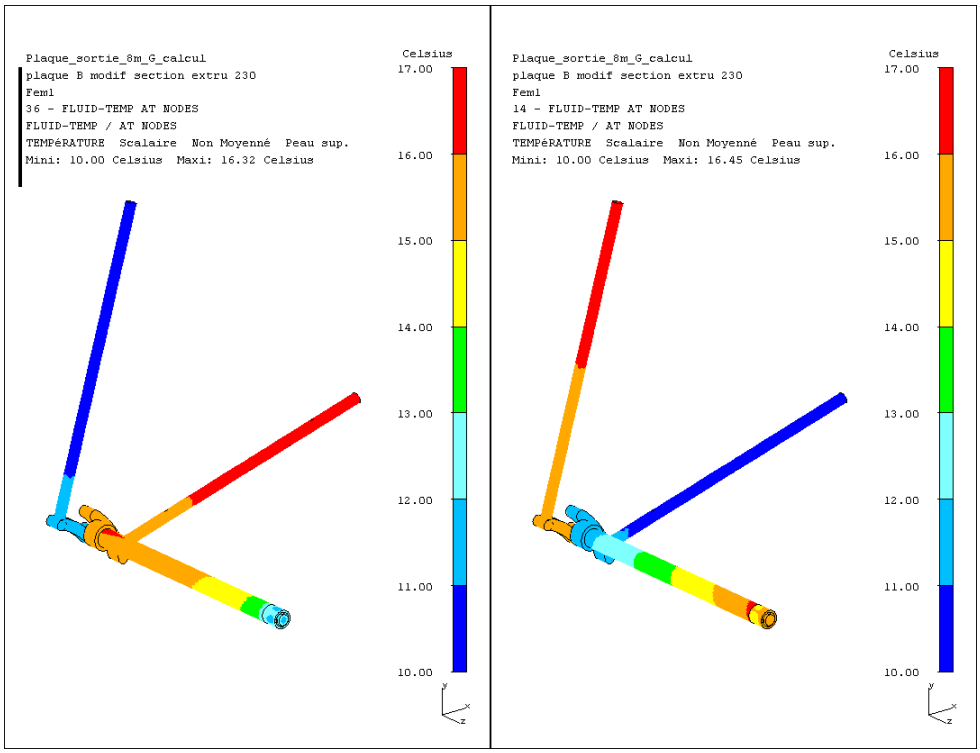


Figure 11. Température de l'eau cas n°3 et cas n°2.

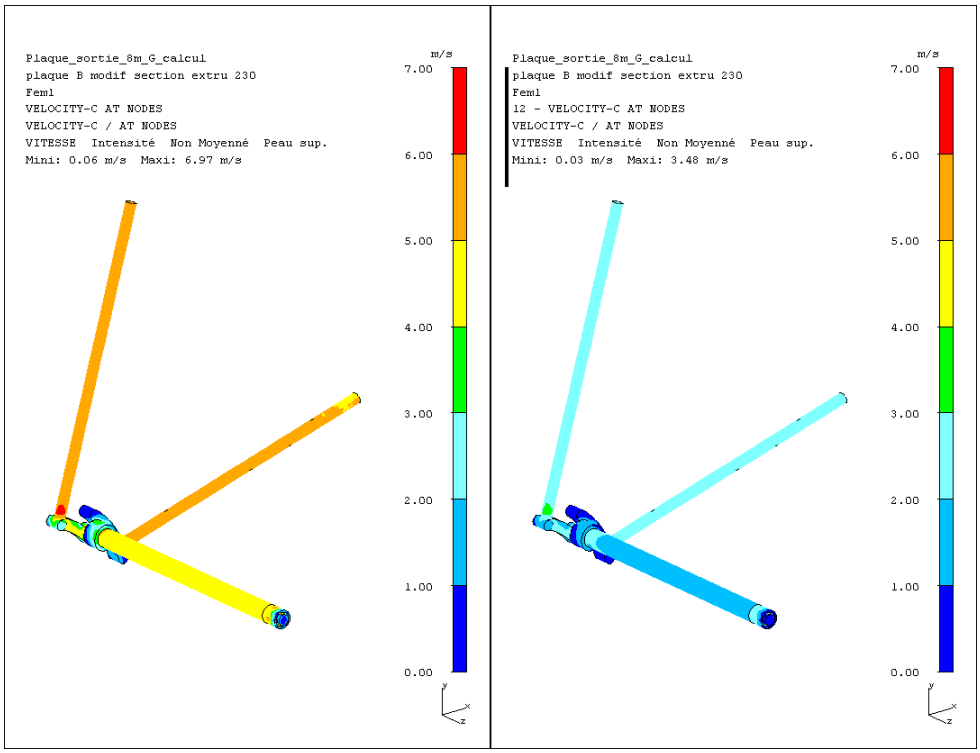


Figure **12**.Vitesse de l'eau pour les cas n°1 et cas n°2.

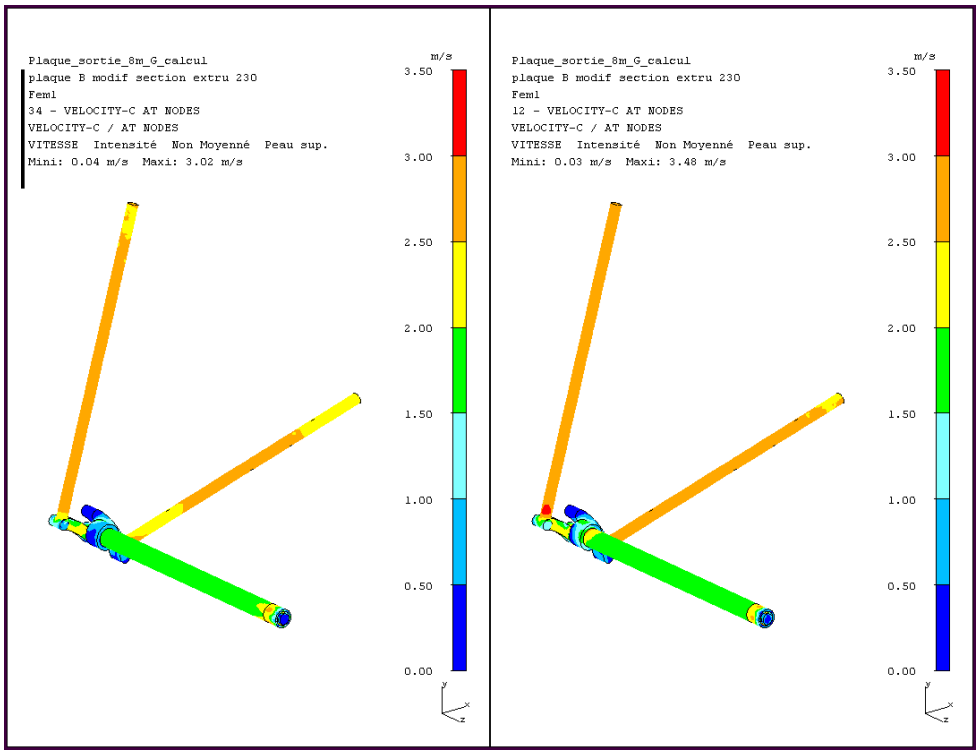


Figure 13.Vitesse pour les cas n°3 et n°2 (échelle 0-3,5m/s).

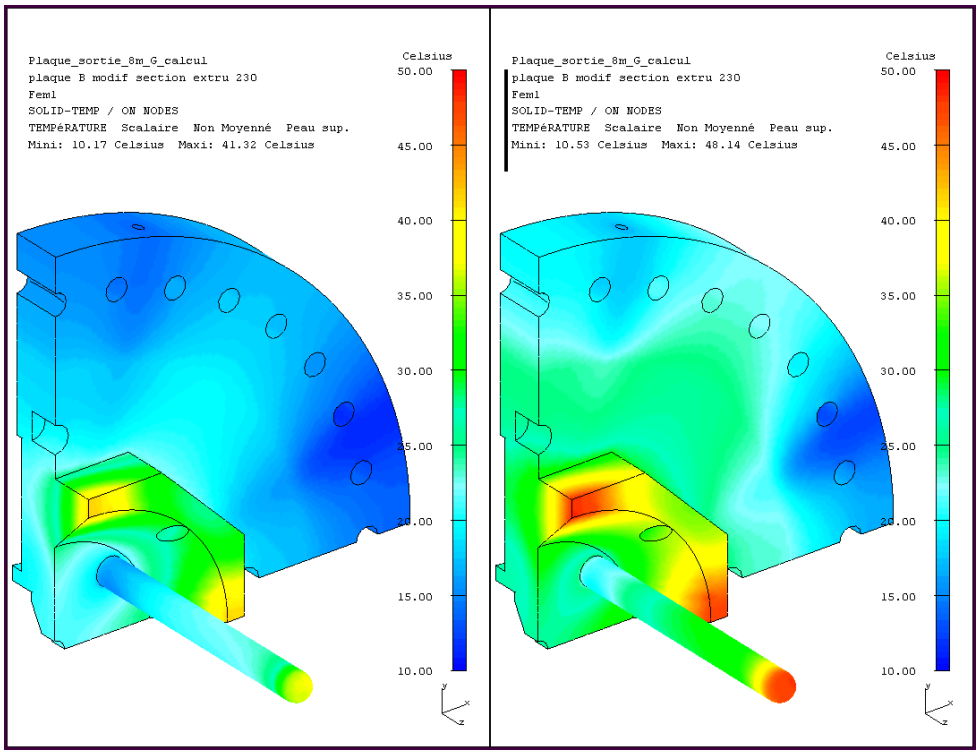


Figure 14.Température de la plaque pour les cas n°1 et n°2.

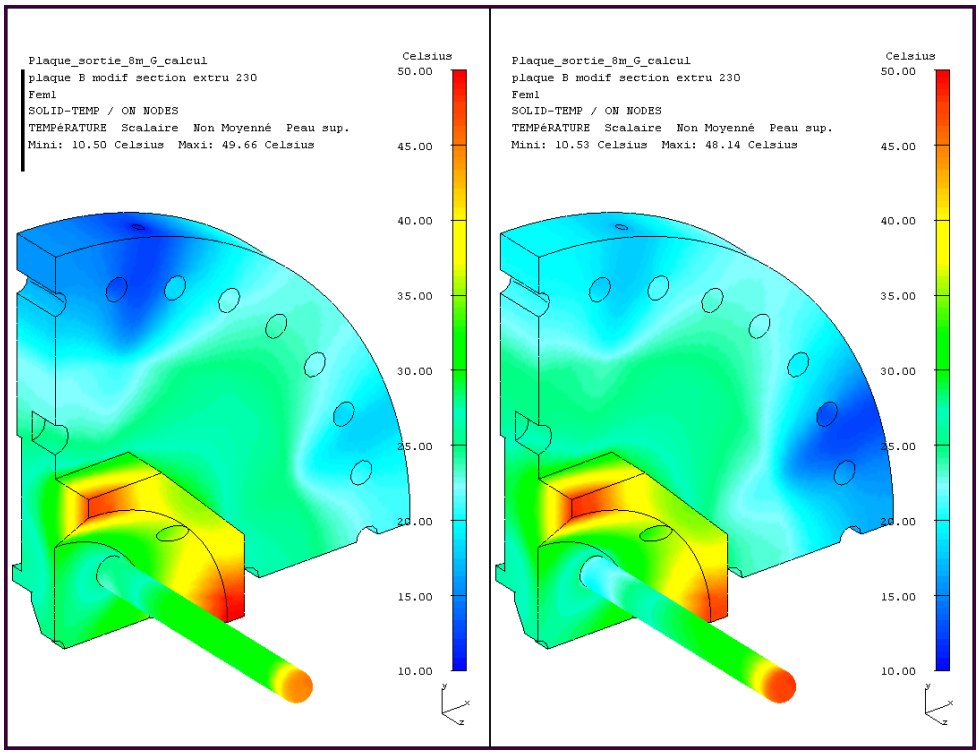


Figure **15**.Température de la plaque pour les cas n°3 et n°2.

2.4. Calcul mécanique.

Les calculs de mécanique sont de type linéaire et statique sur un modèle comportant 278742 nœuds et 176773 éléments (type quadratique) avec les conditions aux limites suivantes:

- blocage des plans de symétrie en translation normale, blocage en translation normale d'une face d'appui de la bride voir Figure 6.
- chargement thermique sur les nœuds des éléments issu des calculs précédents voir Tableau 2 ..

Ces calculs thermomécaniques sont réalisés pour les trois cas de refroidissement.
Les résultas, contraintes de Von Mises et déplacements, sont regroupés dans le Tableau 2 .

	Cas n°1 v : 5 m/s@10°C	Cas n°2 v : 2,5 m/s@10°C	Cas n°3 Inversion E/S v : 2,5 m/s@10°C
Contraintes de Von Mises moyennée en MPa. voir	**0,11 à 41,4** Figure 16	**0,12 à 63,3** Figure 16	**0,07 à 71,7** Figure 18
Déplacements en µm. voir	**3,8 à 22,5** Figure 17	**0,03 à 33,5** Figure 17	**0,01 à 33,5** Figure 19
Chargement thermique en °C. Min Max Voir	 **10,17** **41,32** Figure 14	 **10,53** **48,14** Figure 14	 **10,50** **49,66** Figure 15

Tableau **2** .Résultats des calculs thermomécaniques.

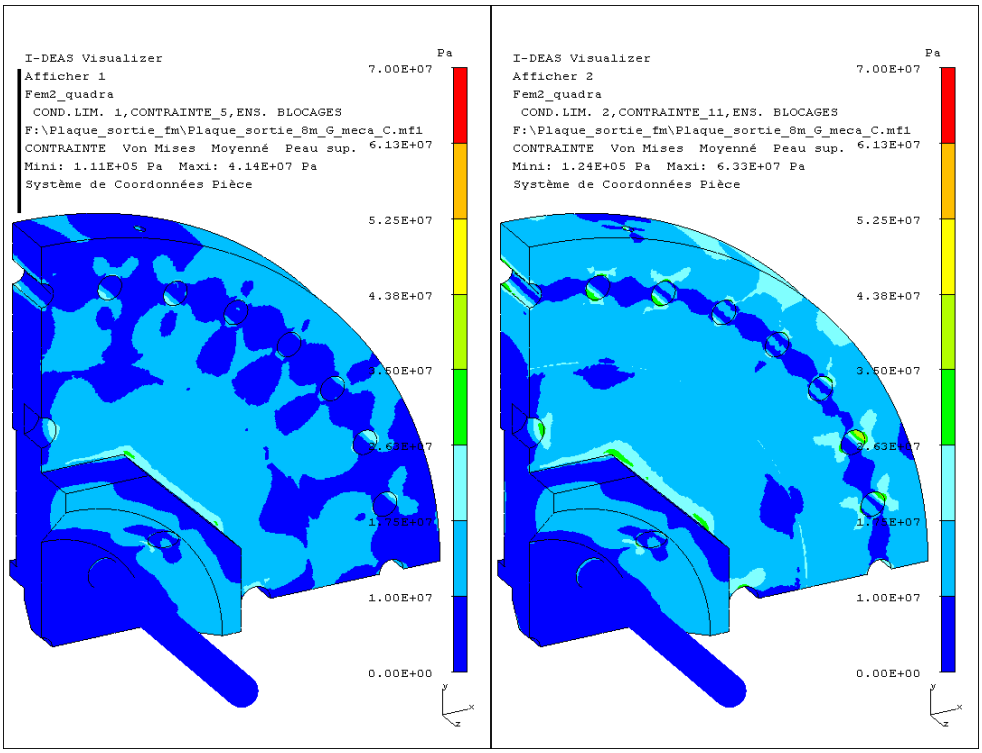


Figure 16 Contraintes de Von Mises Moyennées, cas n°1 et 2.

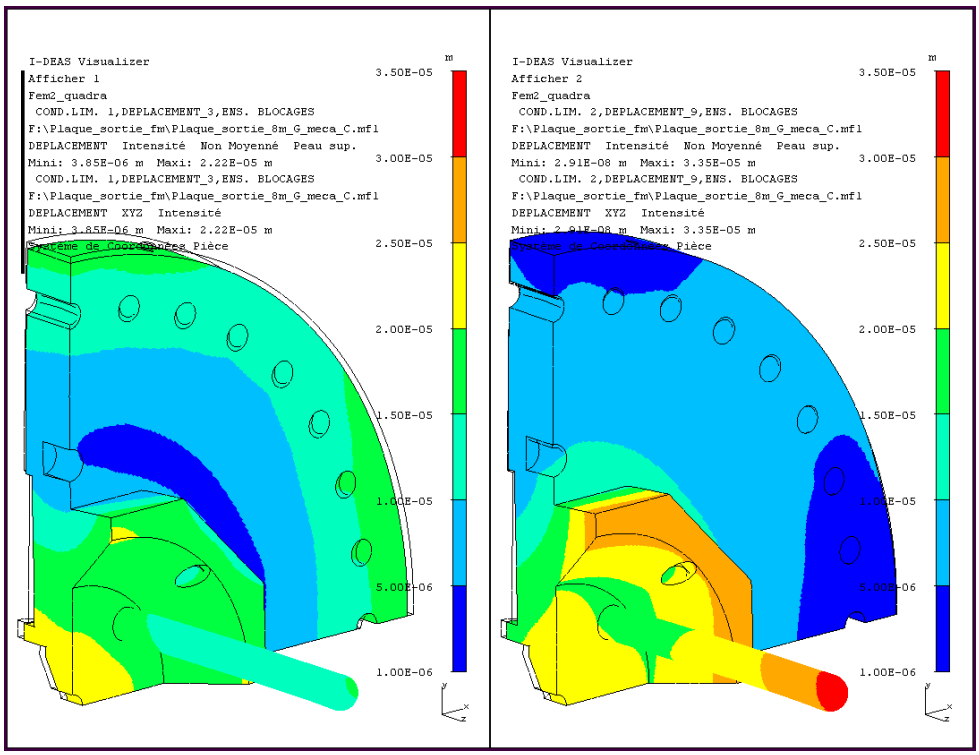


Figure 17 Déplacements et déformée pour les cas n°1 et 2.

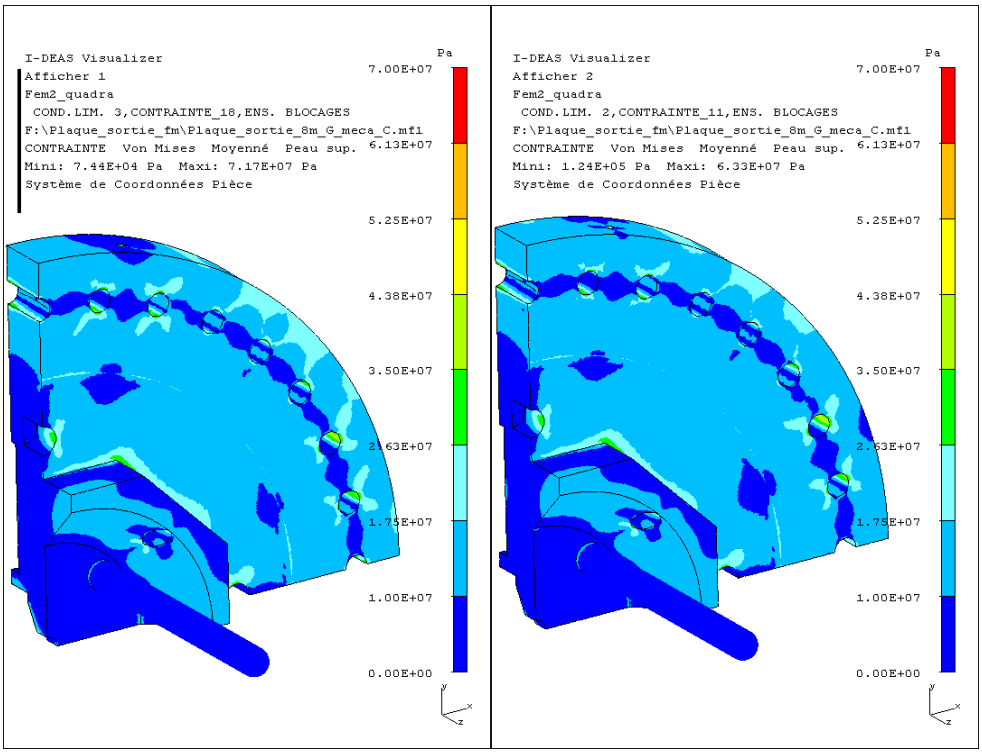


Figure 18 Contraintes de Von Mises moyennées, cas n°3 et 2.

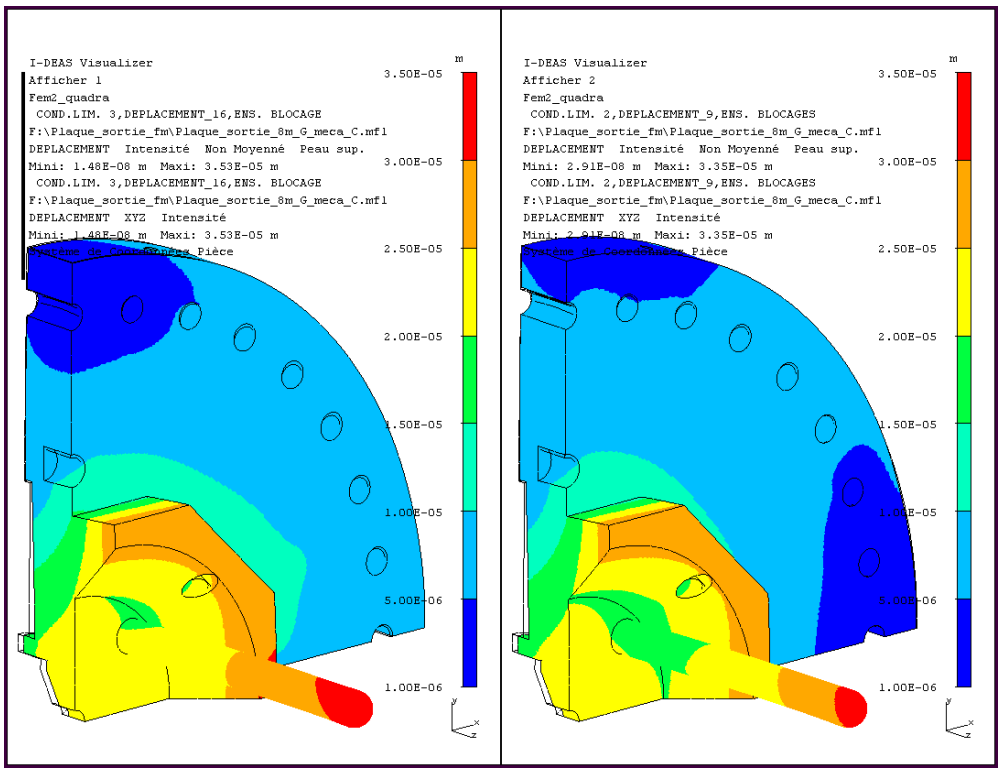


Figure 19. Déplacements et déformée pour les cas n°3 et 2.

2.5. Commentaires.

Les résultats des calculs de contraintes sont ventilés pour les trois cas dans le Tableau 3 , et pour chaque sous-ensemble de la plaque.

Pour la plaque de cuivre seule et la bride inox les contraintes restent inférieures à la limite élastique (soit 60 MPa pour le cuivre dans la nuance Cuc2 [6]).

Pour la barre stabilisatrice en cuivre dans les cas 2 et 3 les contraintes maximales excèdent 60 MPa.

En examinant en détail les résultats dans la structure de la barre, voir Figure 20, on constate que :

- Pour la partie externe les contraintes sont inférieures à 10 MPa.

- Pour le tube interne, zone des rainures non comprises, séparant les circuits de refroidissement interne et externe les contraintes sont inférieures à 25 MPa pour le cas n°2 et 30 MPa pour le cas n°3.

- Pour l'extrémité du tube interne, dans la zone des rainures, les valeurs dépassent la limite élastique du cuivre pour les cas 2 et 3, soit respectivement 63,3 MPa et 71,7 MPa.

Ces concentrations de contraintes sont dues à une forte augmentation du gradient de température au voisinage des rainures et à l'assemblage rigide (modélisation monobloc) entre le tube interne et l'extrémité de la barre. Nonobstant un maillage quadratique, les valeurs absolues dans ces zones sont entachées d'erreurs importantes.

Une plus grande précision sur ces valeurs maximales nécessiterait un raffinement du modèle et un calcul non linéaire.

Un assemblage non solidaire entre le tube interne et l'extrémité de la barre et/ou un matériau différent devrait permettre de limiter ces contraintes.

Contraintes de Von Mises Moy. en MPa	Cas n°1 v : 5 m/s@10°C	Cas n°2 v : 2,5 m/s@10°C	Cas n°3 Inversion E/S v : 2,5 m/s@10°C
Plaque cuivre seule	**0,11 à 38,7**	**0,12 à 42,3**	**0,07 à 41,5**
Barre cuivre	**0,2 à 41,4**	**0,31 à 63,3**	**0,22 à 71,7**
Bride inox	**0,17 à 29,9**	**0,31 à 47**	**0,31 à 48,4**

Tableau 3. Contraintes de Von Mises moyennées, dans les sous-ensembles.

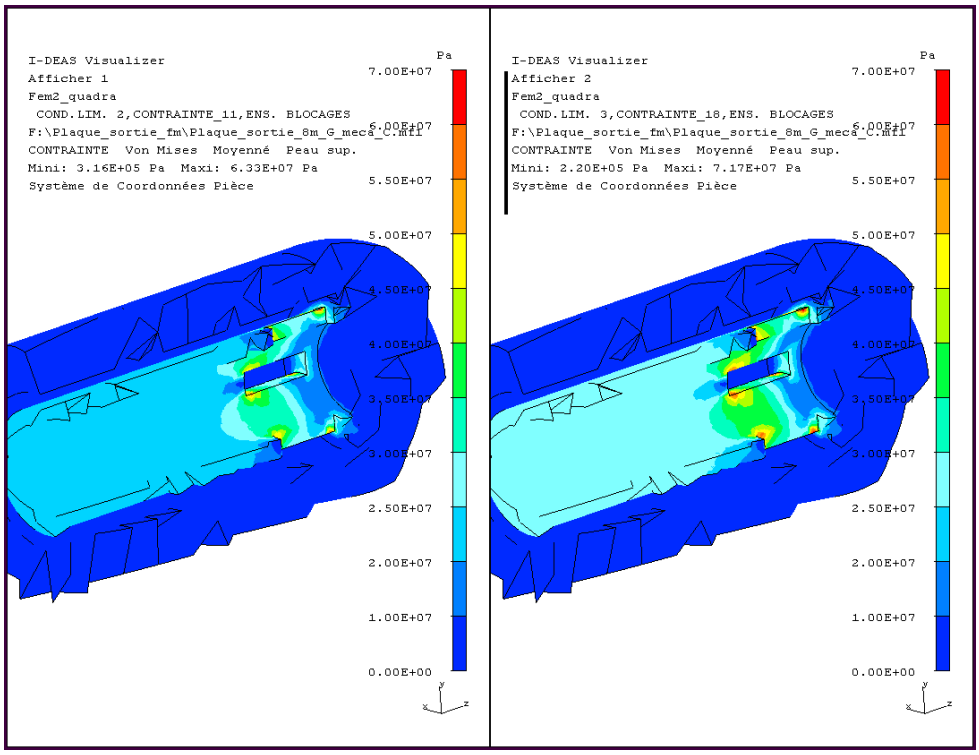


Figure 20. Vue en coupe de l'extrémité de barre, contraintes de V.M. moyennées pour les cas 2 et 3.

Références

[1] R. Ferdinand, P. Mattei, R. Duperrier " Le RFQ du projet IPHI",
Rapport DSM/DAPNIA/SEA/IPHI99-62.

[2] MAFIA, Société CST Allemagne

[3] I-DEAS, Société EDS Unigraphics Solutions France

[4] P.Balleyguier, F.Launay, " Etude thermique de la plaque de couplage à 6 m du RFQ d'IPHI", CEA/DIF/SP2A/LETA DO 124, 08/10/01, où rapport IPNO 01-08 21/09/01.

[5] J.S. Genot, "Inerface ESC pour Mapping de Flux: MAPFLUX.EXE", Rapport MAYA Heat Transfert Technologies, Montréal, Décembre 2000.

[6] « Les propriétés du cuivre et de ses alliages », Publication du Centre d'Information du Cuivre. Paris.

Annexe.

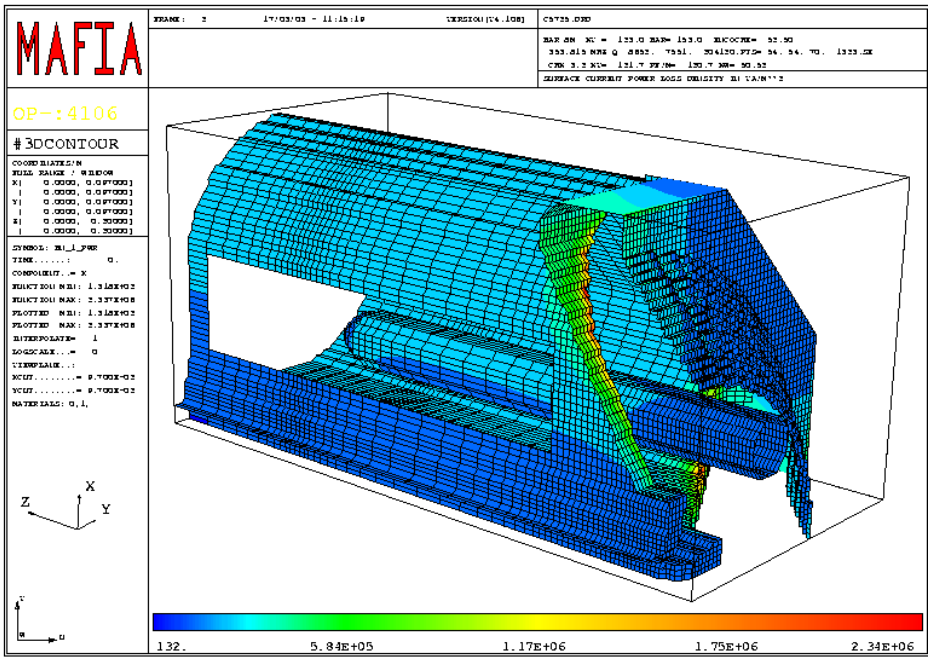


Figure 21 Dissipation de puissance en extrémité de segment à 8m.Cas c5725 calculé avec MAFIA par Pascal Balleyguier**.

**CEA/DIF/DPTA/SP2A 91680 Bruyères le Châtel BP12 (balleyg@bruyeres.cea.fr).