

**AtECal**

10, rue Jean Jaurès
69120 VAULX EN VELIN

☎ 04 78 79 07 82

E-mail: bureau@atecal.fr

Note de calcul

Caisson rectangulaire RAPRR

COMEX			Date : 27/06/2023
36 Bd des Océans - CS 143			Réf AtECal :
13275 MARSEILLE CEDEX 09			22422 - 01
☎ :	04 91 29 75 00	📄 :	04 91 29 75 50
Réf :		Caisson rectangulaire	Rev C

COMEX	Client : AMESYS international	Rev C
36 Bd des Océans - CS 143	Réf. :	
13275 MARSEILLE CEDEX 09	Appareil : Caisson rectangulaire RAPRR	2 / 26

HISTORIQUE DES REVISIONS

Rev	Date	Modifications	Rédaction		Vérification		Approbation	
			Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
A	13/04/2023	1ère édition	V.VIALLET		R.DEBREU		COMEX	
B	23/05/2023	Mise à jour	V.VIALLET		R.DEBREU		COMEX	
C	27/06/2023	Mise à jour	V.VIALLET		F.DEFRANOUX		COMEX	
D								
E								
F								
G								
H								
I								

DETAILS DES REVISIONS

Rev	Date	Modifications
A	13/04/2023	1ère édition
B	23/05/2023	Mise à jour de la référence du plan et de la date du fichier STEP Suppression du chapitre 1.5 – Modification apportée par rapport au fichier STEP
C	27/06/2023	Prise en compte des lamages au niveau des boutons
D		
E		
F		
G		
H		
I		

COMEX	Client : AMESYS international	Rev C
36 Bd des Océans - CS 143	Réf. :	
13275 MARSEILLE CEDEX 09	Appareil : Caisson rectangulaire RAPRR	3 / 26

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	4
1.1	OBJET DU CALCUL	4
1.2	REFERENCES.....	4
1.2.1	<i>Documents de référence.....</i>	4
1.2.2	<i>Codes de calcul.....</i>	4
1.2.3	<i>Références de logiciels.....</i>	4
1.3	UNITES	4
1.4	DONNEES GENERALES	5
1.4.1	<i>Résumé des épaisseurs.....</i>	5
1.4.2	<i>Caractéristiques des matériaux utilisés</i>	5
2	CONCLUSION	5
3	VERIFICATION AUX ELEMENTS FINIS.....	6
3.1	OBJET DU CALCUL	6
3.2	REQUISITION	7
3.3	METHODE DE CALCUL	7
3.4	CRITERES D'ADMISSIBILITE	7
3.4.1	<i>Contraintes admissibles.....</i>	7
3.4.2	<i>Calcul des contraintes.....</i>	7
3.5	MODELE ELEMENTS FINIS	8
3.5.1	<i>Géométrie et valeurs dimensionnelles.....</i>	8
3.5.2	<i>Conditions limites.....</i>	9
3.5.3	<i>Connexions internes</i>	10
3.6	CHARGES	14
3.6.1	<i>Pression extérieure.....</i>	14
3.7	RESULTATS	18
3.7.1	<i>Analyse au flambement.....</i>	18
3.7.2	<i>Contraintes</i>	20
3.7.3	<i>Déplacements (pour information).....</i>	24
3.7.4	<i>Vérification de la boulonnerie.....</i>	25
3.8	SYNTHESE.....	26

COMEX 36 Bd des Océans - CS 143 13275 MARSEILLE CEDEX 09	Client : AMESYS international Réf. : Appareil : Caisson rectangulaire RAPRR	Rev C 4 / 26
--	--	---------------------

1 INTRODUCTION

1.1 OBJET DU CALCUL

La présente note de calcul a pour objet la vérification de la tenue mécanique de l'appareil d'un Caisson rectangulaire RAPRR soumis aux conditions définies au §1.4.

Le calcul est réalisé à partir d'un modèle STEP fourni par COMEX. Les principales dimensions sont spécifiées au chapitre 1.4.1, toutes les épaisseurs sont des épaisseurs minimum (sans tolérance de fabrication) à respecter.

Les pièces participant à la résistance mécanique sont :

- Rep 1 : enceinte
- Rep 2 : capot
- Rep 4 : anneau de serrage

Le repère 3 – hublot est modélisé mais n'est pas analysé.

1.2 REFERENCES

1.2.1 Documents de référence

- | | | |
|--------------------|-------------------------|------------------------------------|
| [1] Plan N°: | PL23002-C1000 | Révision 1 |
| [2] Fichier STEP : | PL23002-C1000-2-Boitier | envoyé le 21/06/2023 sans révision |

1.2.2 Codes de calcul

- [3] CODAP 2020 Division 2
- [4] CODAP 2000 Révision 04/04

1.2.3 Références de logiciels

- [5] Ansys Workbench 2022 R2 - Ansys

1.3 UNITES

Les unités choisies sont celles du système international :

- Longueur mm
- Pression MPa
- Masse kg
- Force N
- Accélération m/s^2
- Inertie mm^4
- Module d'inertie mm^3
- Fréquence Hz

COMEX 36 Bd des Océans - CS 143 13275 MARSEILLE CEDEX 09	Client : AMESYS international Réf. : Appareil : Caisson rectangulaire RAPRR	Rev C 5 / 26
--	--	---------------------

1.4 DONNEES GENERALES

Données	Enceinte	Corps	Commentaires
Code de calcul		CODAP	
Coefficient de soudure		Sans soudure	
Contrainte		f1	
Situation normale de service			
Température maxi. de calcul	(°C) TS	Ambiante	
Pression intérieure de calcul	(MPa) PS	-	
Pression extérieure de calcul	(MPa)	6	= 60 bar
Situation d'essai de résistance			
Pression d'essai de résistance	(MPa) PT	-	
Surépaisseur de corrosion	(mm)	0	

1.4.1 Résumé des épaisseurs

Repère	Désignation	Matériau Norme	Epaisseur nominale (mm)	Tolérance de fabrication (mm)	Corrosion (mm)	Epaisseur utile (mm)
1	Enceinte	UNS S32760 (ASTM)	Fond inférieur : 10 Côté : 10 Bride : 8	0	0	10 10 8
2	Capot	UNS S32760 (ASTM)	Bride : 5 Support hublot : 12.3 Côté : 4.25 / 5.75 / 10 / 12.7	0	0	5 12.3 4.25 / 5.75 / 10 / 12.7
4	Anneau de serrage	UNS S32760 (ASTM)	6	0	0	6

1.4.2 Caractéristiques des matériaux utilisés

En accord avec les règles [3], la contrainte admissible f , (en MPa), est :

Matériau	Situation	Température (°C)	Module d'élasticité (MPa)	f_{normal} (MPa)	f_{excep} (MPa)
S32760	Service	20	200000	313.137 $\text{Min}\{R_{p0.2}/1.5 ; R_m/2.4\}$	524.00 $0.95 \cdot R_{p0.2}$

2 CONCLUSION

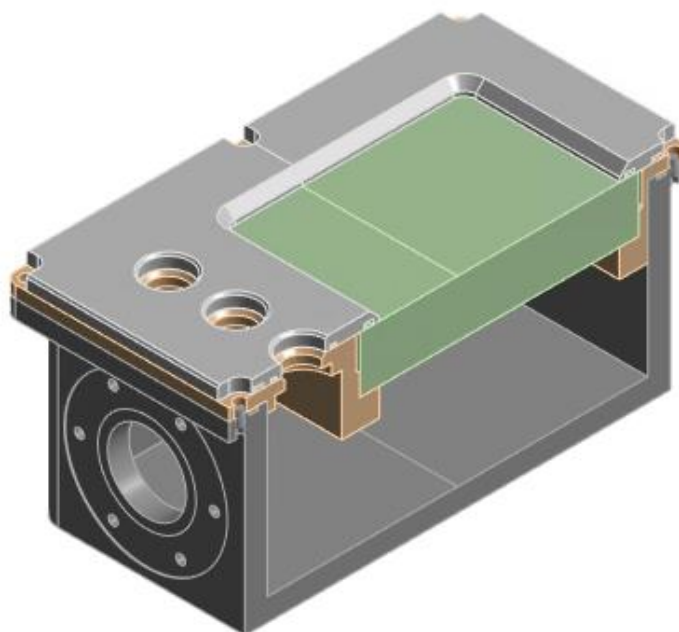
L'appareil défini suivant le document [1] est correctement dimensionné d'après les impositions du code.

3 VERIFICATION AUX ELEMENTS FINIS

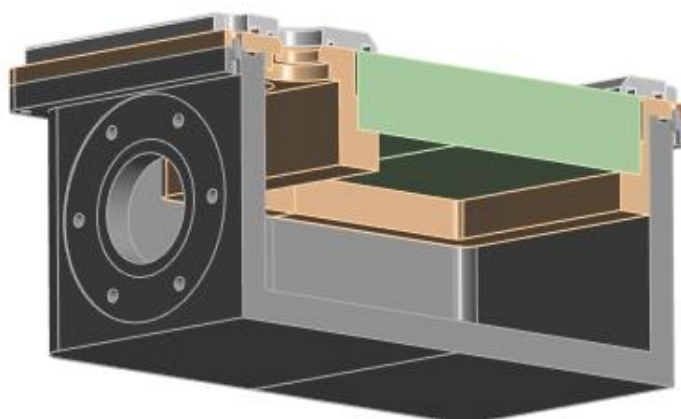
3.1 OBJET DU CALCUL

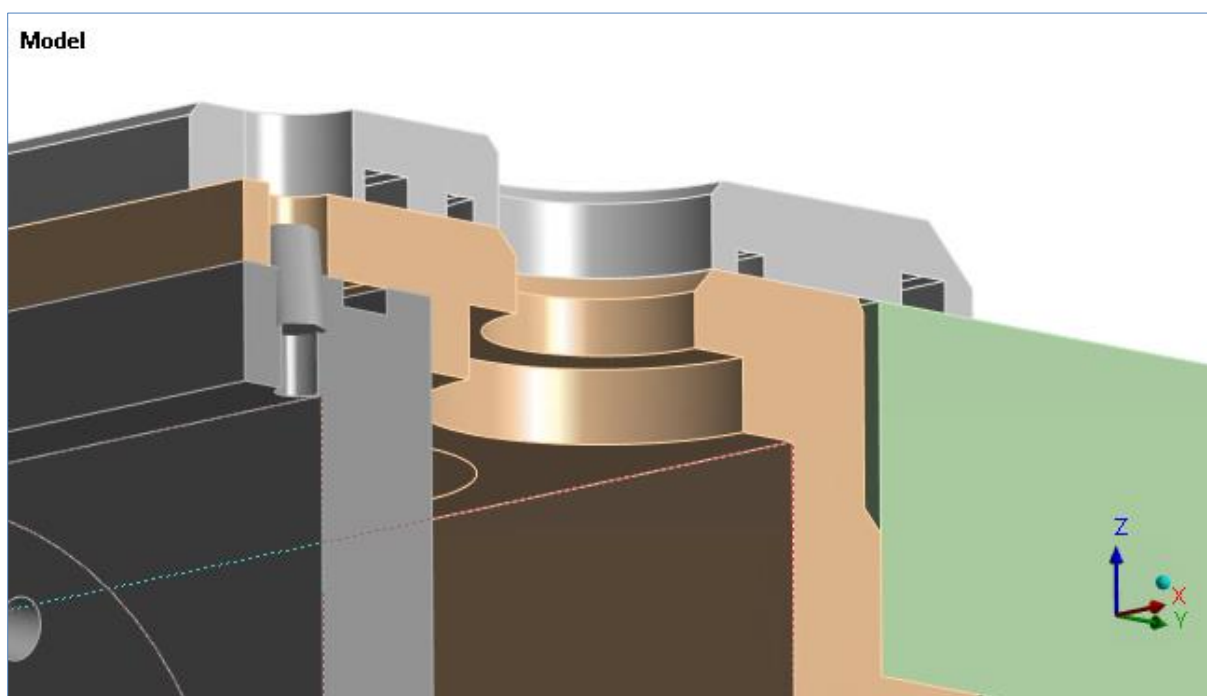
Le calcul permet de valider l'ensemble du caisson :

Model



Model





Vue du malage du bouton

3.2 REQUISITION

Dans toutes les situations, les contraintes calculées ne doivent pas dépasser les limites définies en [3].

3.3 METHODE DE CALCUL

La méthode de calcul choisie est statique linéaire, dans le domaine élastique avec la théorie des petits déplacements.

3.4 CRITERES D'ADMISSIBILITE

3.4.1 Contraintes admissibles

Les contraintes admissibles sont définies au §1.4.2.

Lors d'une conception par analyse avec la méthode basée sur les catégories de contraintes (d'après [3], §C10.2), les contraintes suivantes, résultant des calculs avec [5], sont analysées :

- Contrainte primaire générale de membrane $(\sigma_{eq})P_m \leq f$
- Contrainte primaire locale de membrane $(\sigma_{eq})P_L \leq 1.5 f$
- Contrainte primaire totale $(\sigma_{eq})P \leq 1.5 f$
- Contrainte résultantes $(\Delta\sigma_{eq})R \leq 3 f$

3.4.2 Calcul des contraintes

Les contraintes sont calculées dans [5] suivant le critère de TRESCA.

3.5 MODELE ELEMENTS FINIS

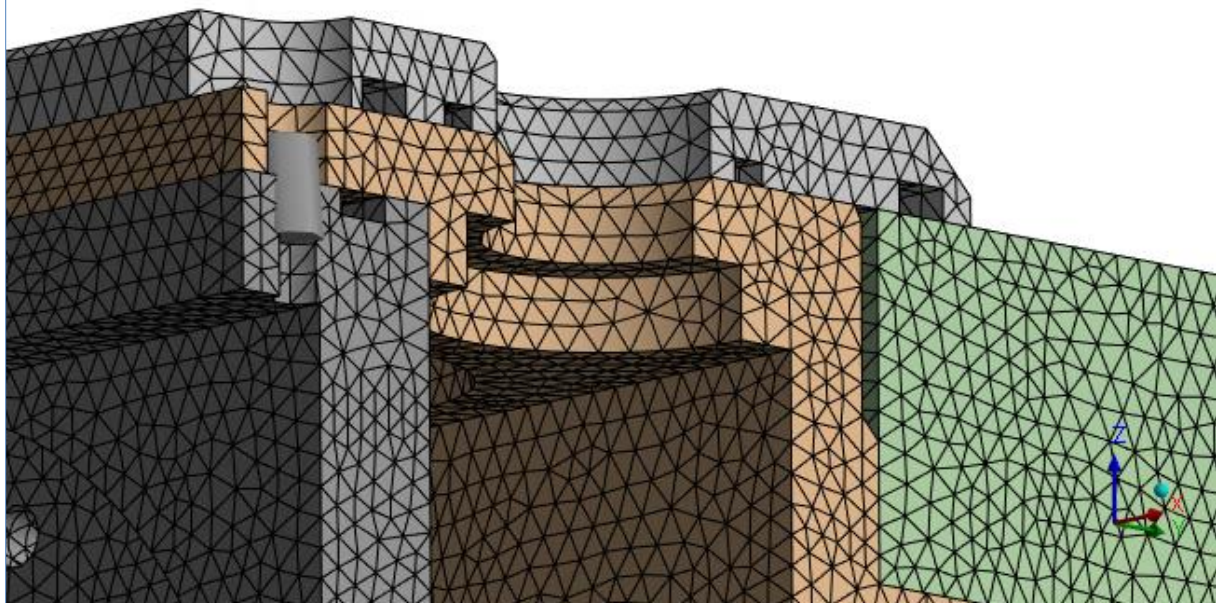
Les éléments utilisés dans le modèle sont :

- Volumique SOLID187 : Élément 10 noeuds, ayant chacun 3 degrés de liberté (3 translations)

Mesh



Mesh



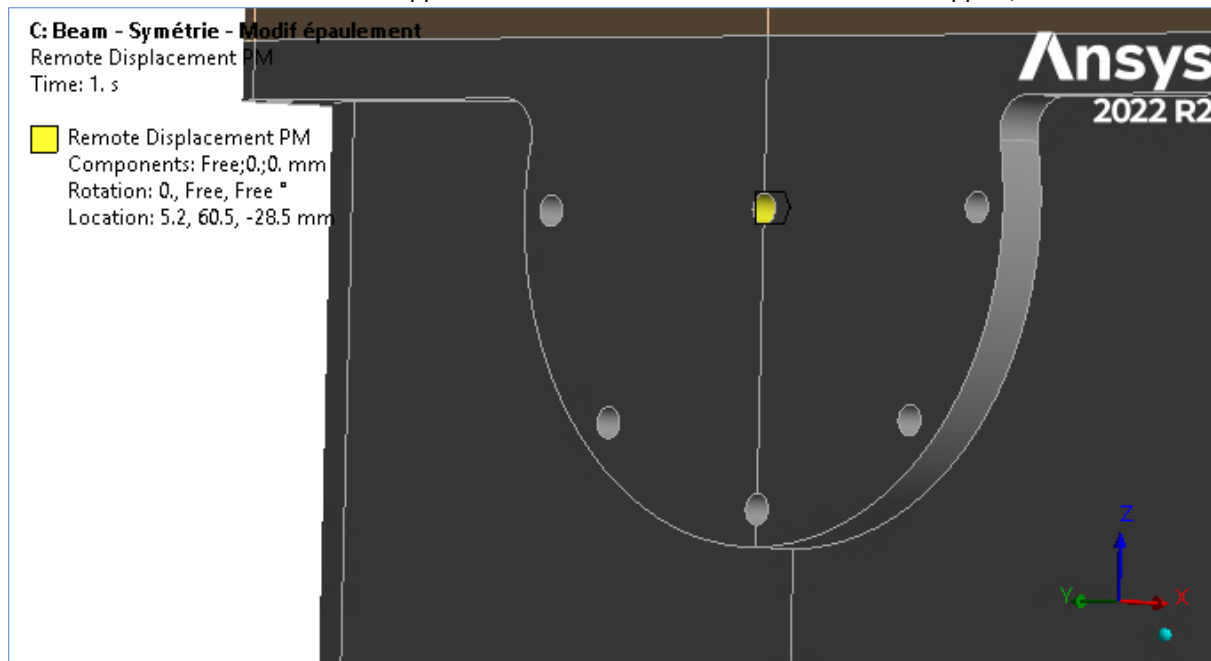
3.5.1 Géométrie et valeurs dimensionnelles

Les épaisseurs sont définies au §1.4.1.

3.5.2 Conditions limites

Le modèle est bloqué :

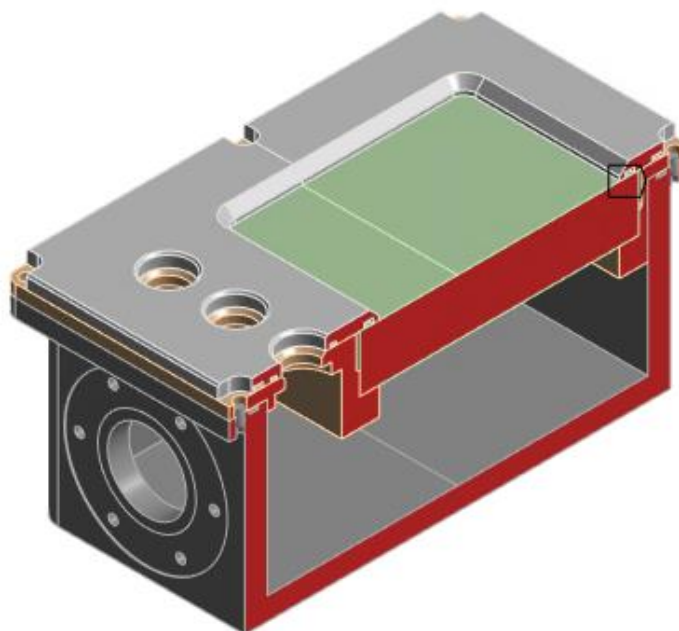
- Par les conditions limites d'appui suivant Y et Z au droit de la vis centrale du support,



- Par les conditions limites de symétrie dans le plan YZ,

Symmetry Region

 Symmetry Region

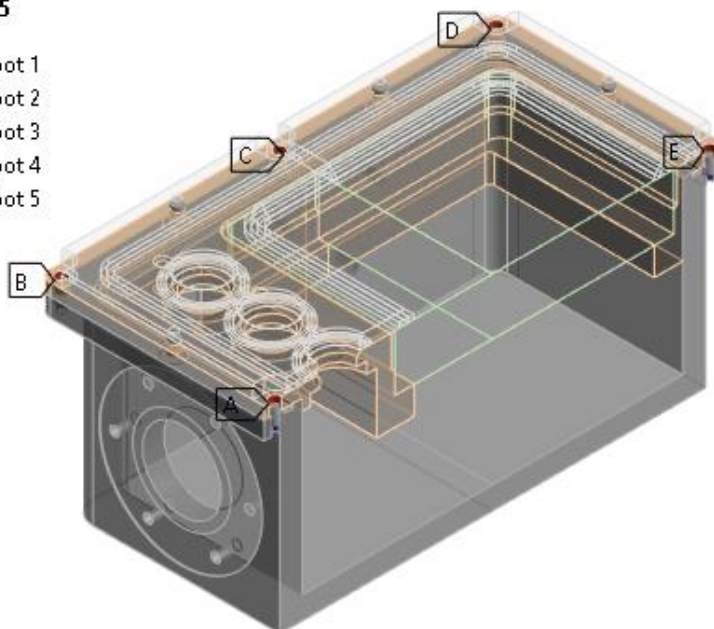


3.5.3 Connexions internes

Pour simuler les assemblages boulonnés, des poutres sont prises en compte entre l'enceinte et le capot :

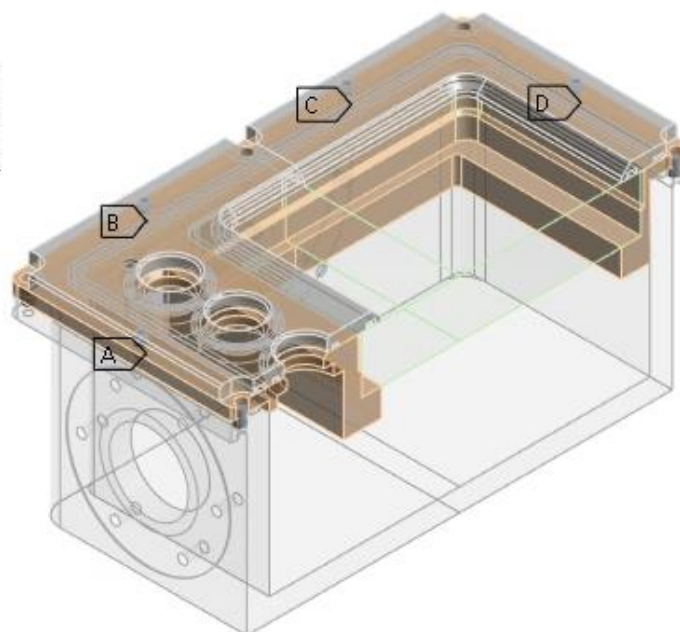
Circular - Enceinte/Capot 5

-  **A** Circular - Enceinte/Capot 1
-  **B** Circular - Enceinte/Capot 2
-  **C** Circular - Enceinte/Capot 3
-  **D** Circular - Enceinte/Capot 4
-  **E** Circular - Enceinte/Capot 5



Circular - Capot/Anneau 4

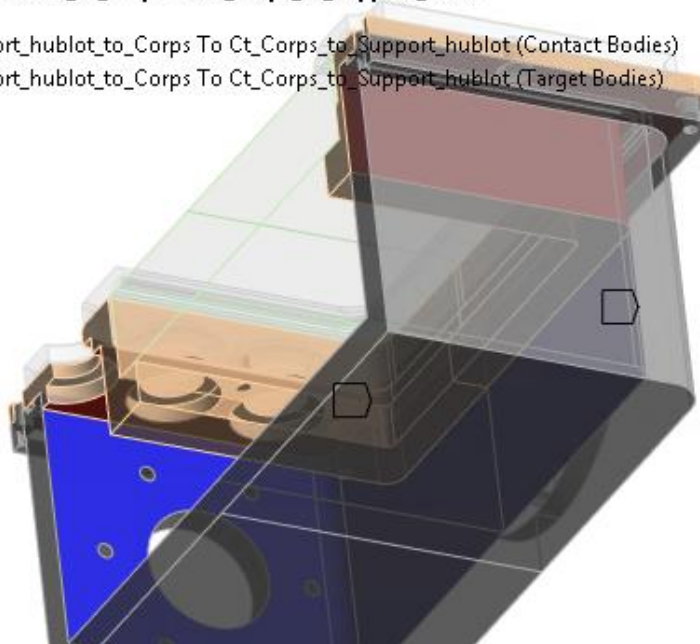
- A** Circular - Capot/Anneau 1
- B** Circular - Capot/Anneau 2
- C** Circular - Capot/Anneau 3
- D** Circular - Capot/Anneau 4



Des éléments contacts avec frottement ($\mu = 0.3$) sont pris en compte entre l'enceinte et le capot.

Frictional - Ct_Support_hublot_to_Corps To Ct_Corps_to_Support_hublot

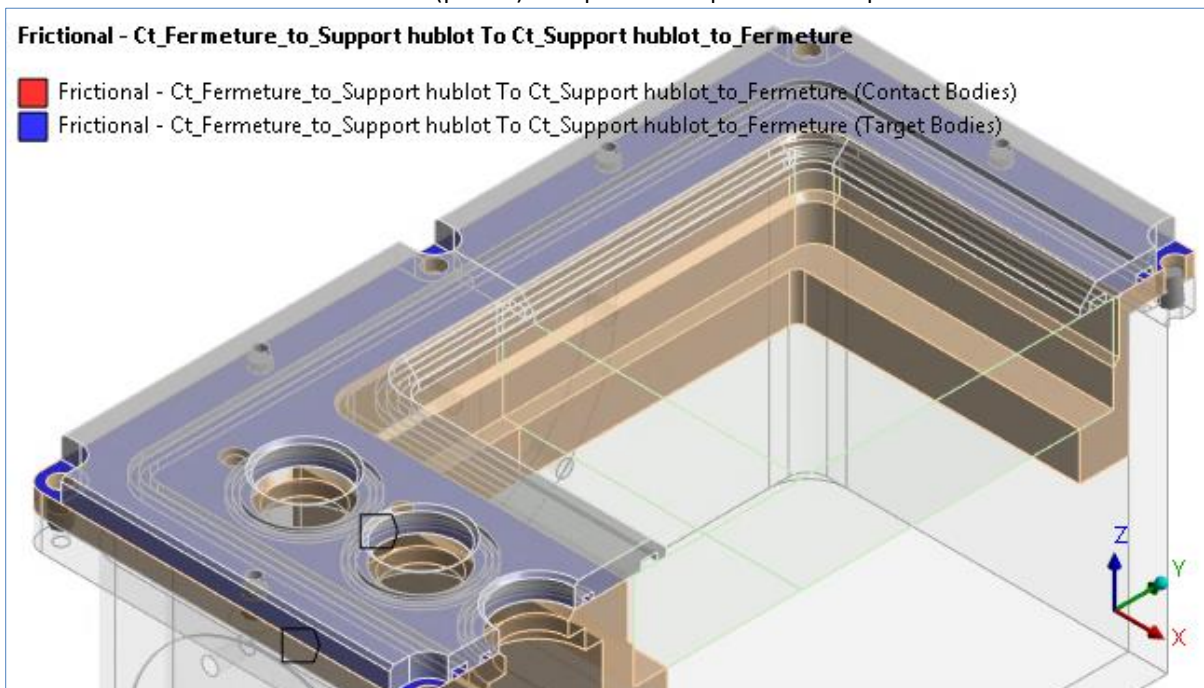
- Red** Frictional - Ct_Support_hublot_to_Corps To Ct_Corps_to_Support_hublot (Contact Bodies)
- Blue** Frictional - Ct_Support_hublot_to_Corps To Ct_Corps_to_Support_hublot (Target Bodies)



Des éléments contacts avec frottement ($\mu = 0.3$) sont pris en compte entre le capot et l'anneau de fermeture.

Frictional - Ct_Fermeture_to_Support hublot To Ct_Support hublot_to_Fermeture

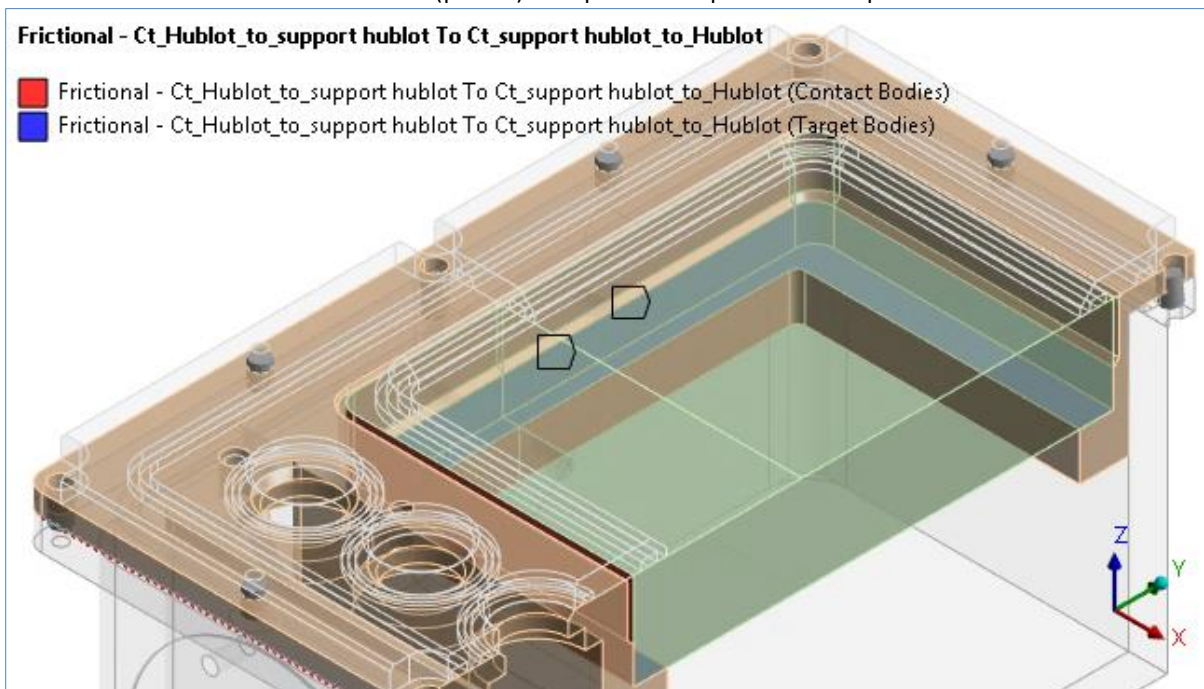
- Frictional - Ct_Fermeture_to_Support hublot To Ct_Support hublot_to_Fermeture (Contact Bodies)
- Frictional - Ct_Fermeture_to_Support hublot To Ct_Support hublot_to_Fermeture (Target Bodies)



Des éléments contacts avec frottement ($\mu = 0.3$) sont pris en compte entre le capot et le hublot.

Frictional - Ct_Hublot_to_support hublot To Ct_support hublot_to_Hublot

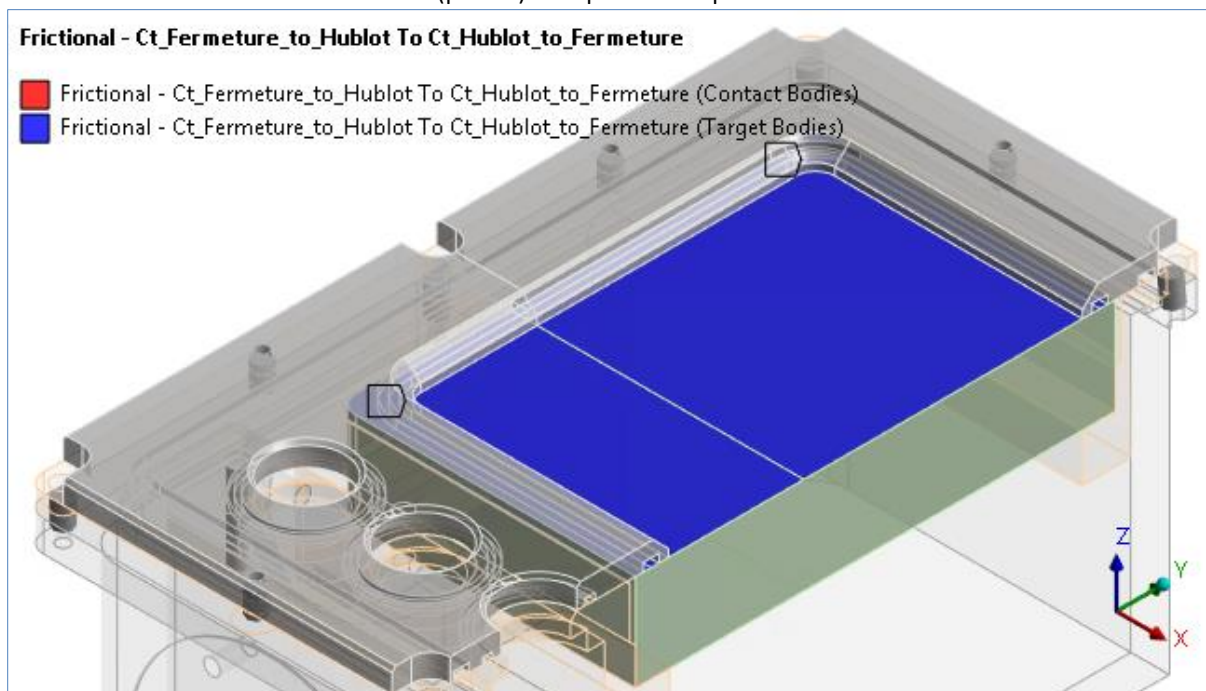
- Frictional - Ct_Hublot_to_support hublot To Ct_support hublot_to_Hublot (Contact Bodies)
- Frictional - Ct_Hublot_to_support hublot To Ct_support hublot_to_Hublot (Target Bodies)



Des éléments contacts avec frottement ($\mu = 0.3$) sont pris en compte entre l'anneau de fermeture et le hublot.

Frictional - Ct_Fermeture_to_Hublot To Ct_Hublot_to_Fermeture

- Frictional - Ct_Fermeture_to_Hublot To Ct_Hublot_to_Fermeture (Contact Bodies)
- Frictional - Ct_Fermeture_to_Hublot To Ct_Hublot_to_Fermeture (Target Bodies)



3.6 CHARGES

3.6.1 Pression extérieure

[A] $P_{\text{ext}} = 6 \text{ MPa} = 60 \text{ bar}$

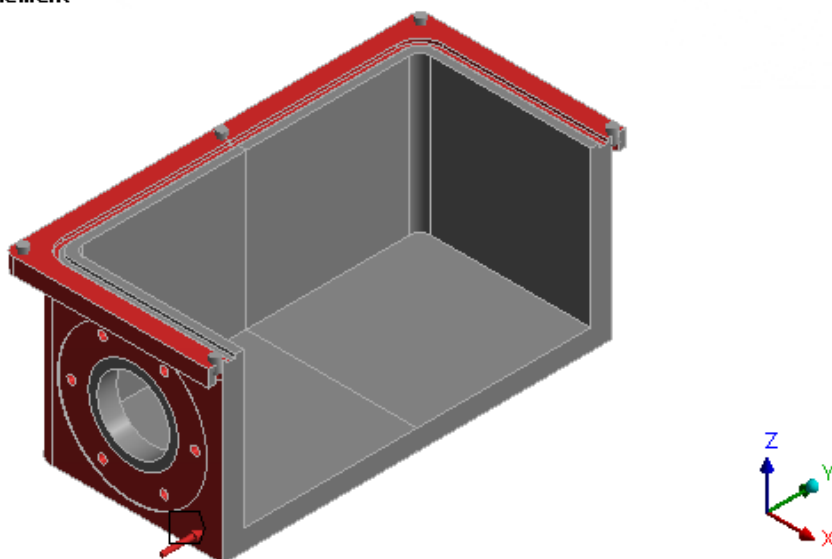
La pression est appliquée sur les faces externes de l'enceinte jusqu'au joint situé sur le dessus et jusqu'au joint situé sur la pièce située sur la face avant au niveau du trou $\varnothing 35$.

C: Beam - Symétrie - Modif épaulement

Pressure_enceinte

Time: 1. s

Pressure_enceinte: 6. MPa

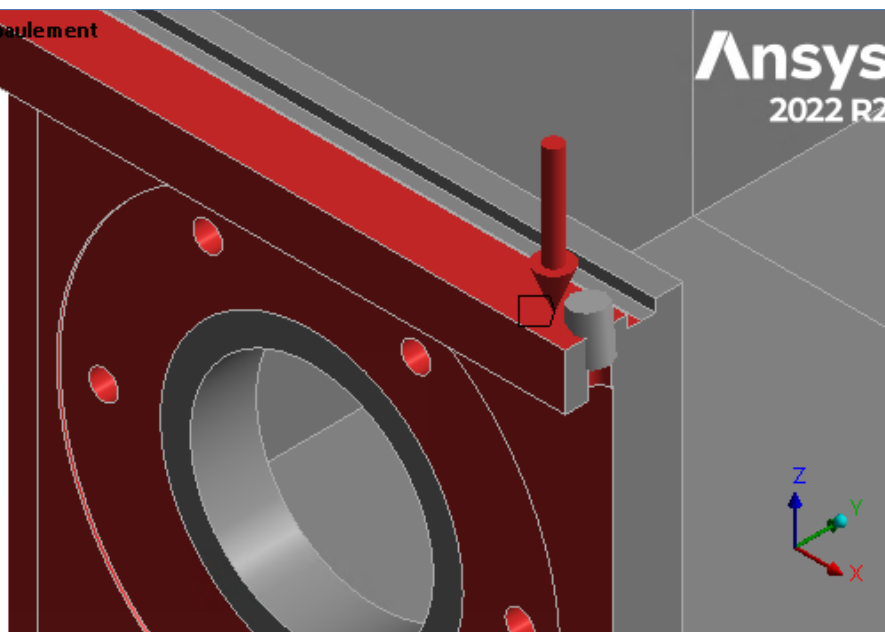


C: Beam - Symétrie - Modif épaulement

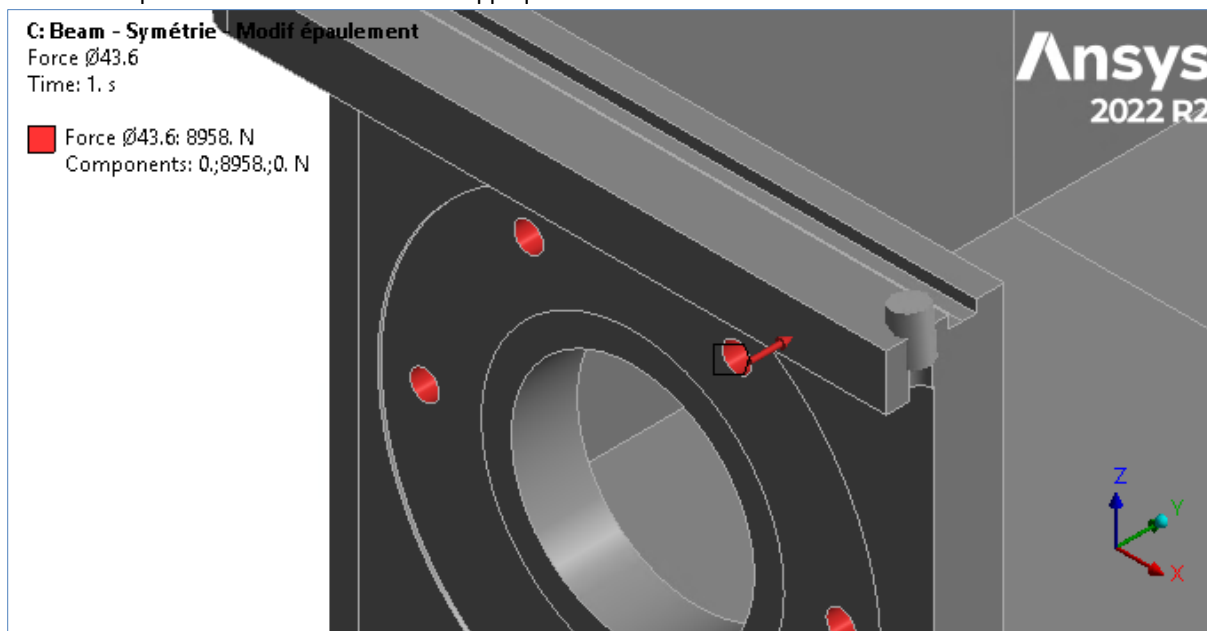
Pressure_enceinte

Time: 1. s

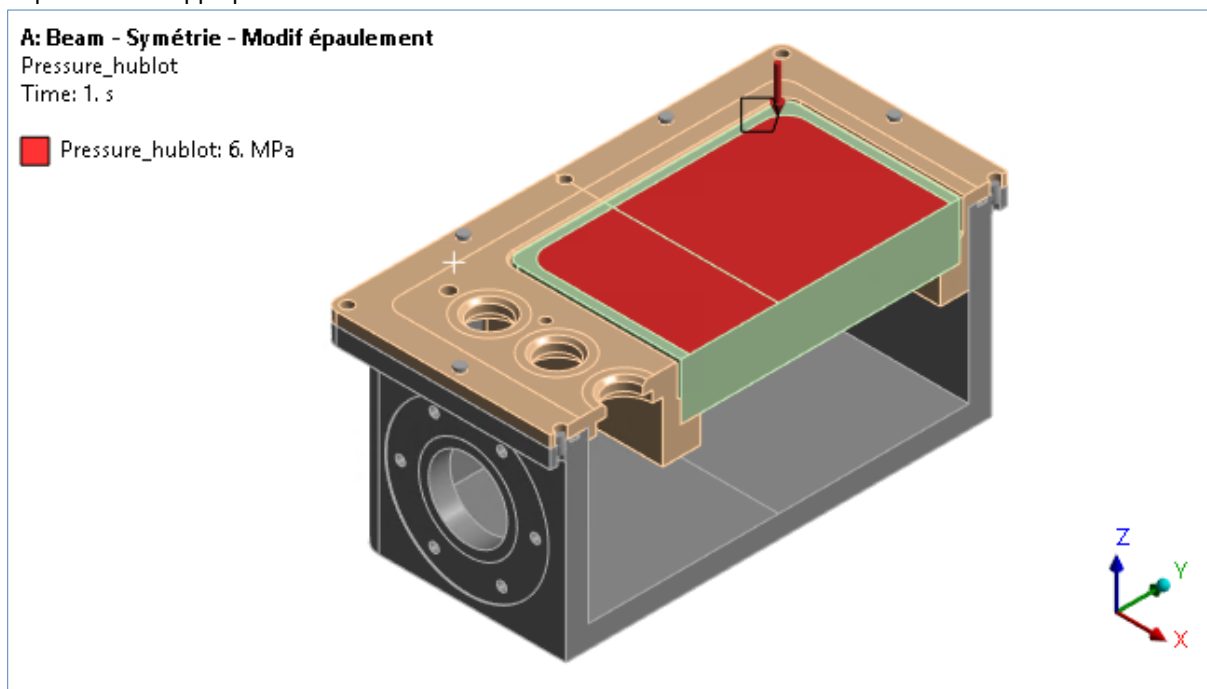
Pressure_enceinte: 6. MPa



Une force représentant l'effet de fond est appliquée au droit des vis.



La pression est appliquée sur le hublot :



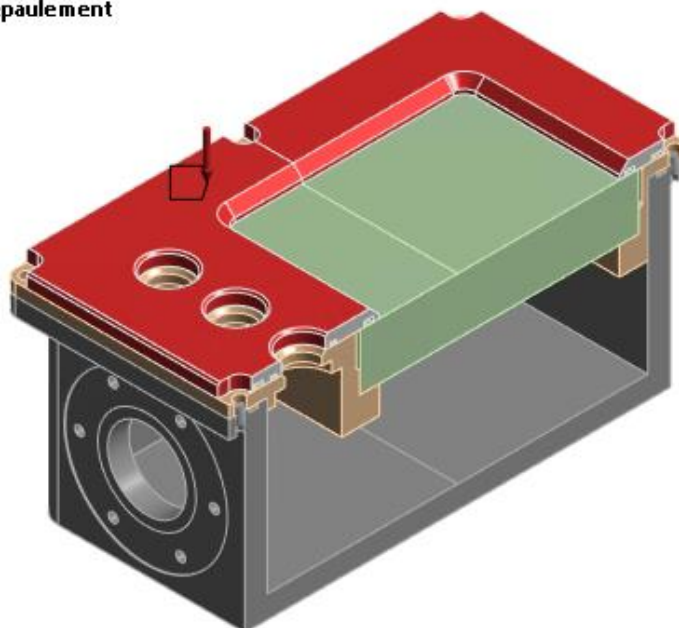
La pression est appliquée sur l'anneau de fermeture.

A: Beam - Symétrie - Modif épaulement

Pressure_anneau

Time: 1. s

■ Pressure_anneau: 6. MPa

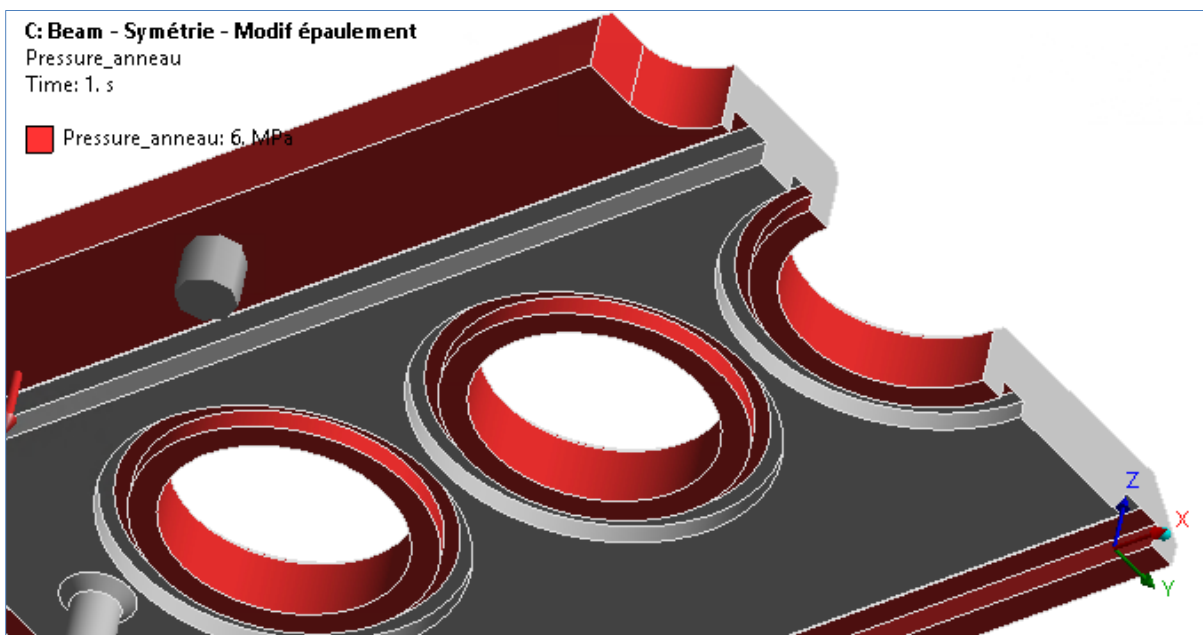


C: Beam - Symétrie - Modif épaulement

Pressure_anneau

Time: 1. s

■ Pressure_anneau: 6. MPa



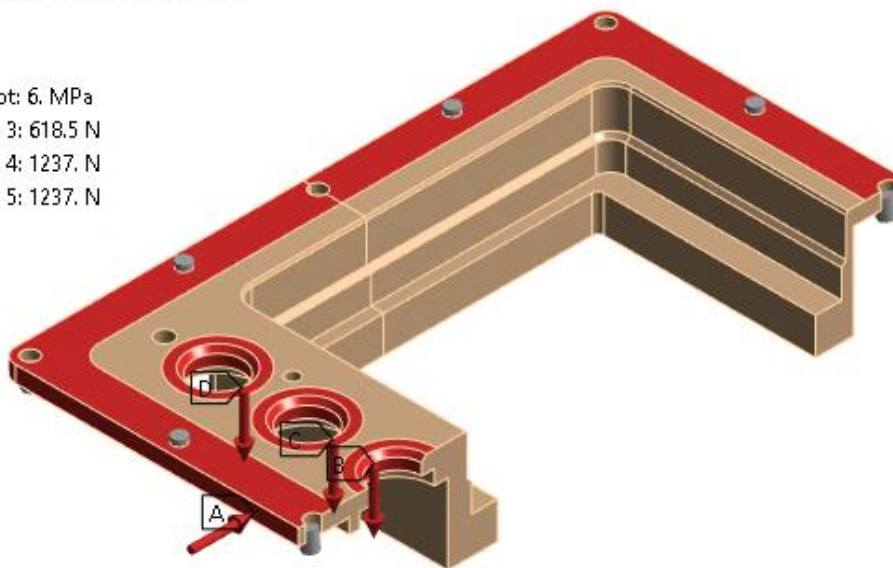
La pression est appliquée sur le capot jusqu'au joint:

A: Beam - Symétrie - Modif épaulement

Force bouton 5

Time: 1. s

- A** Pressure_capot: 6. MPa
- B** Force bouton 3: 618.5 N
- C** Force bouton 4: 1237. N
- D** Force bouton 5: 1237. N



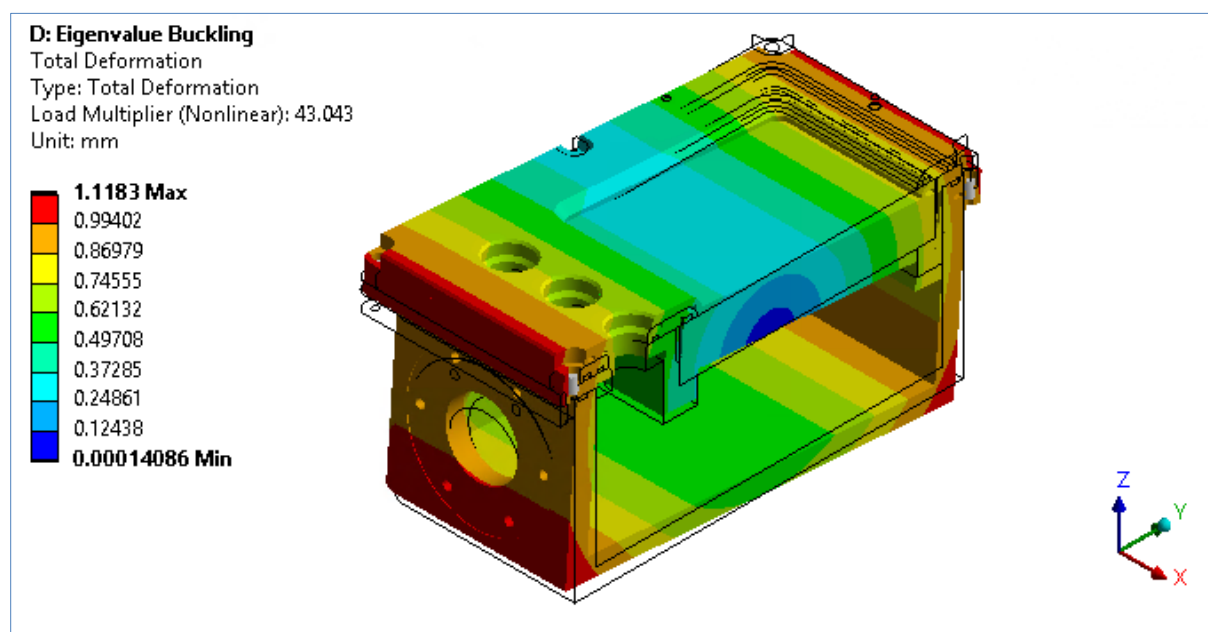
3.7 RESULTATS

3.7.1 Analyse au flambement

En accord avec le chapitre C1.1.6.3 du code [4], le coefficient d'instabilité élastique et élastoplastique doit être supérieur à :

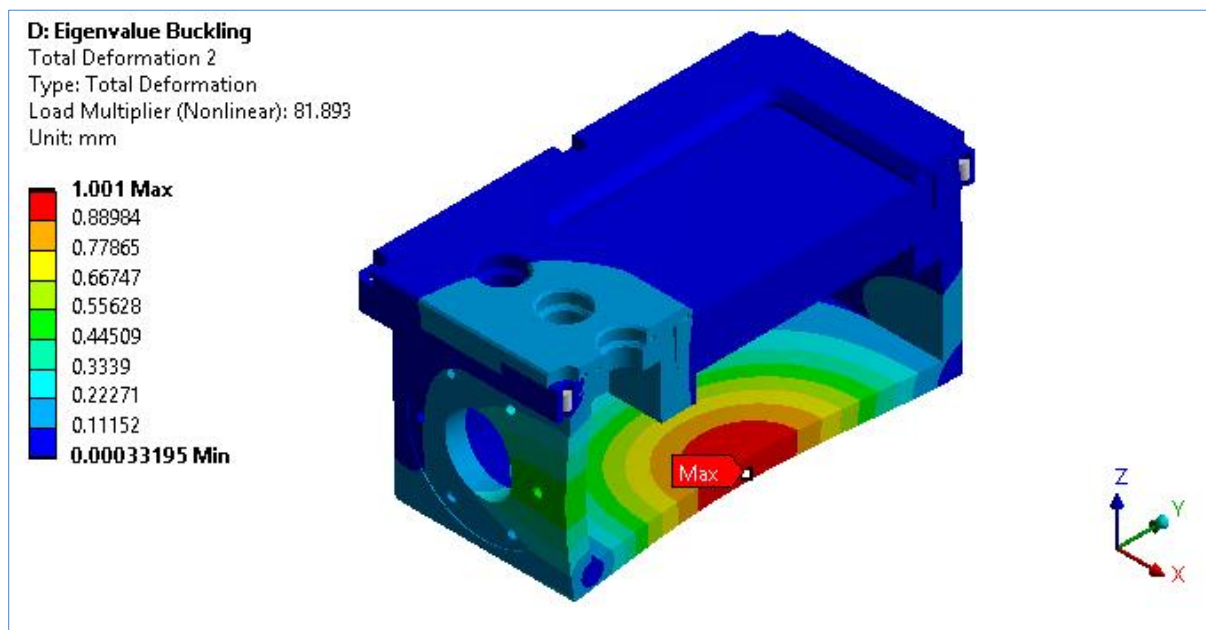
- 3 en situation normale de service

Mode	☒ Load Multiplier
1.	43.043
2.	81.893
3.	116.43
4.	160.14



Le mode correspond à une rotation autour de l'axe X de la pièce, il n'est donc pas représentatif d'un mode de compression / flambage.

Le 2^{ème} mode est un flambement du centre de l'enceinte.

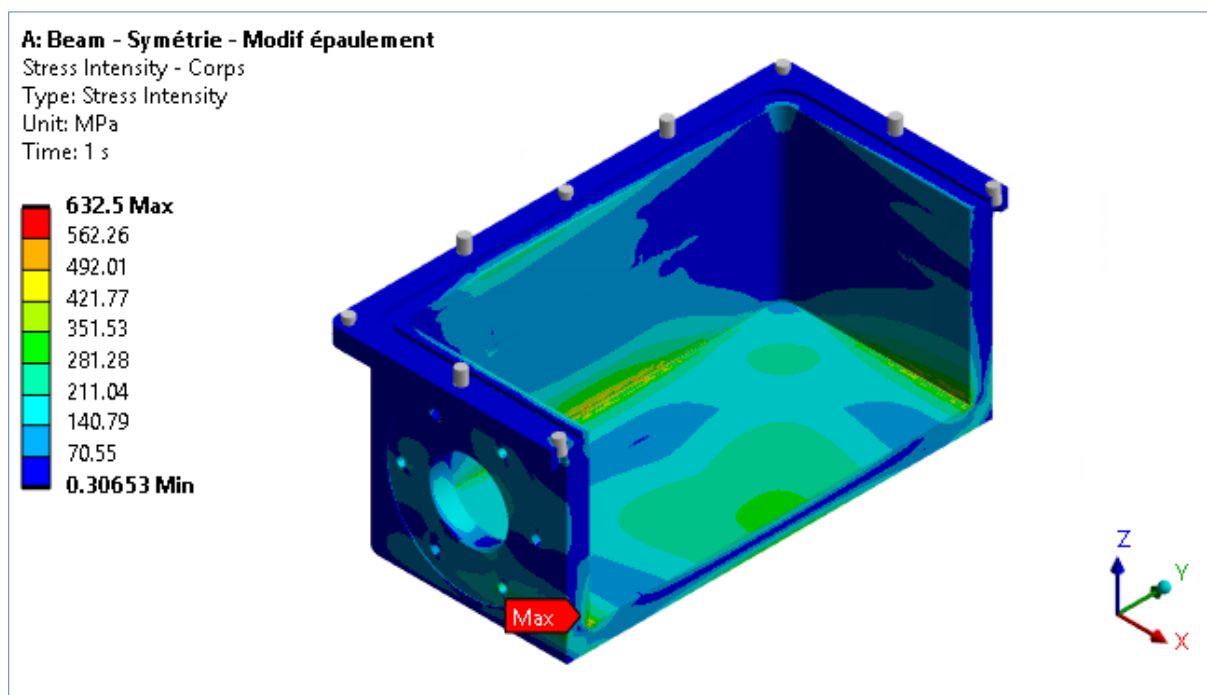


Il n'y a donc pas de risques d'instabilité.

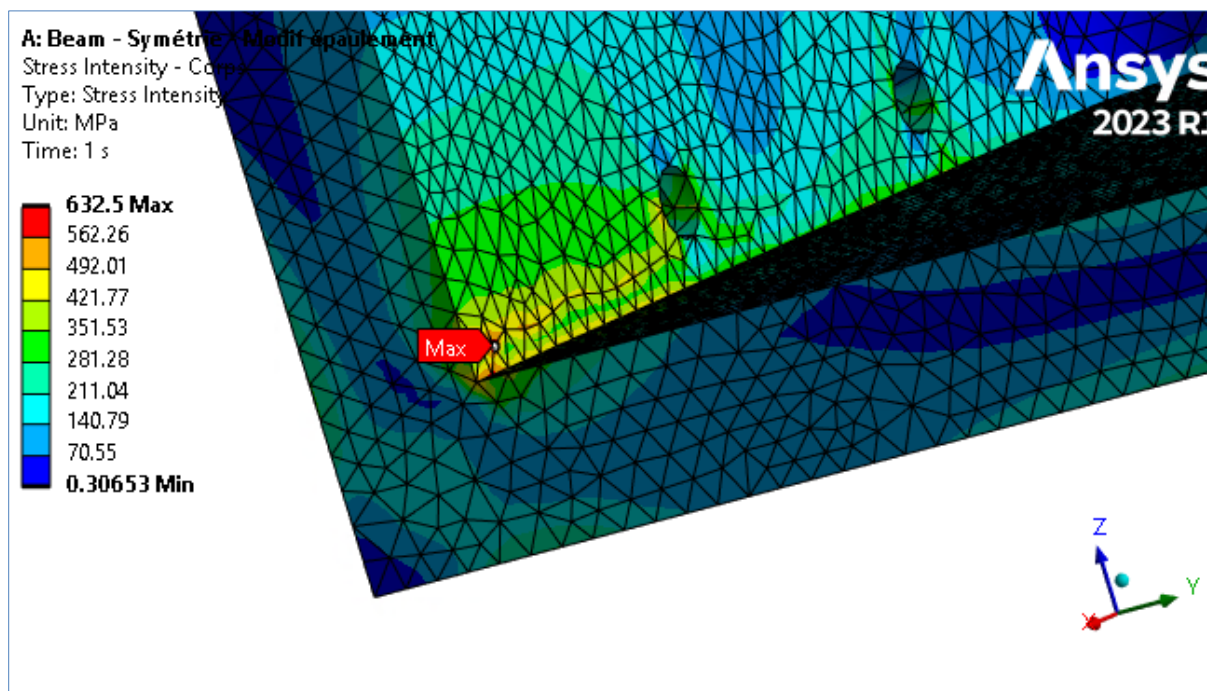
3.7.2 Contraintes

La contrainte admissible est de 313.137 MPa.

La contrainte totale (non linéarisée) dans l'enceinte est de 632.5 MPa.



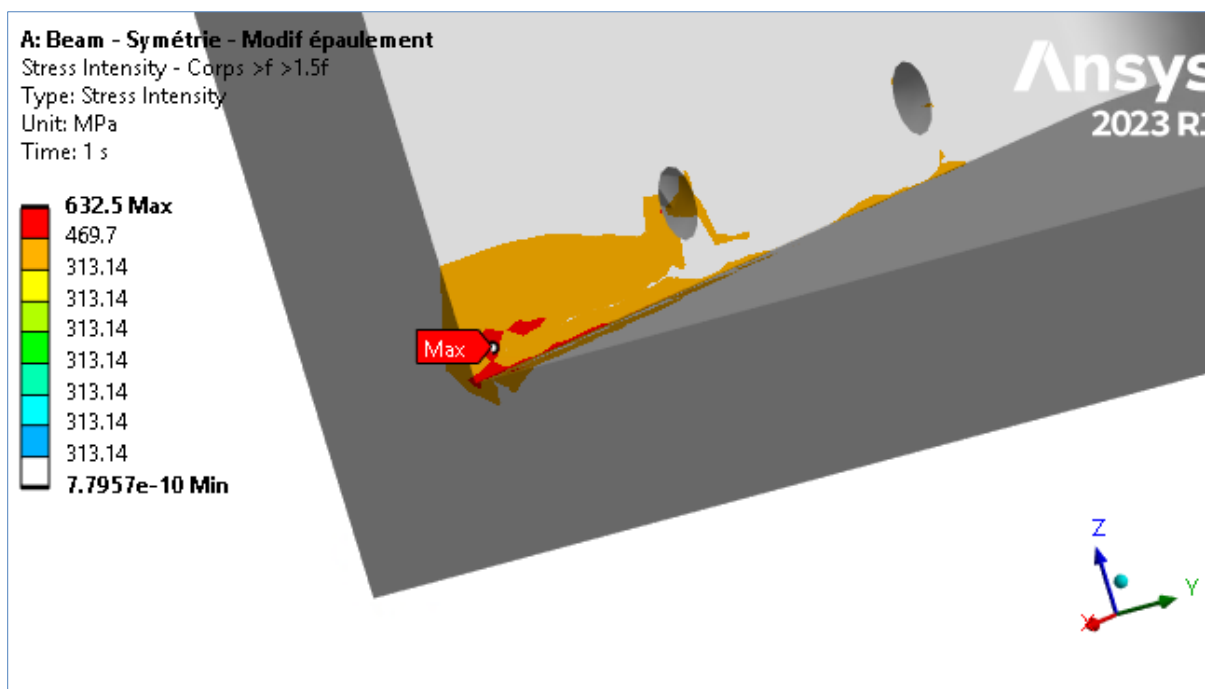
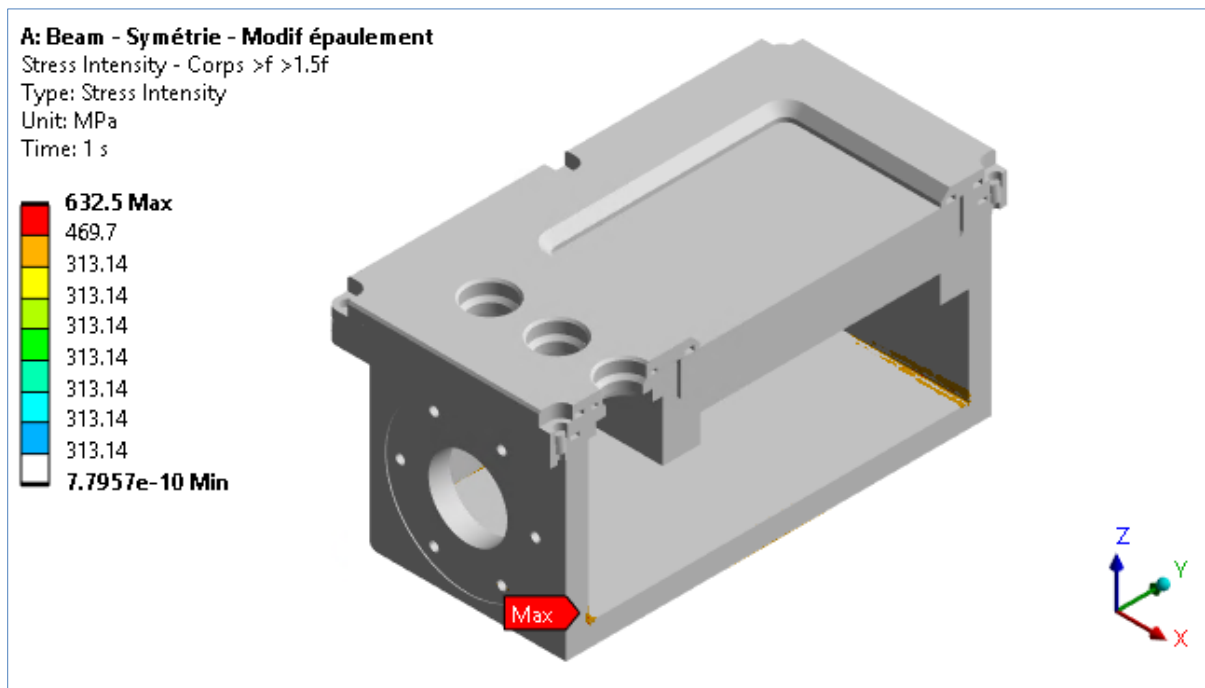
Sa valeur est inférieure à $3 \cdot f$, ce qui valide le critère sur les contraintes secondaires.



Une vue des contraintes avec :

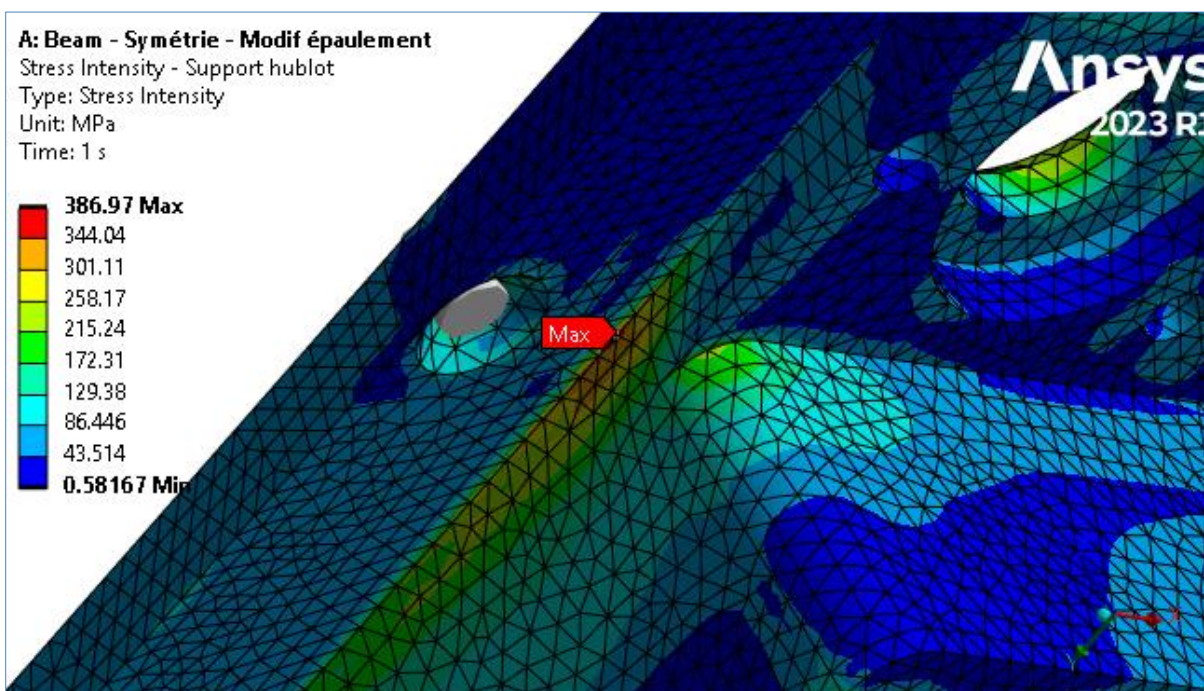
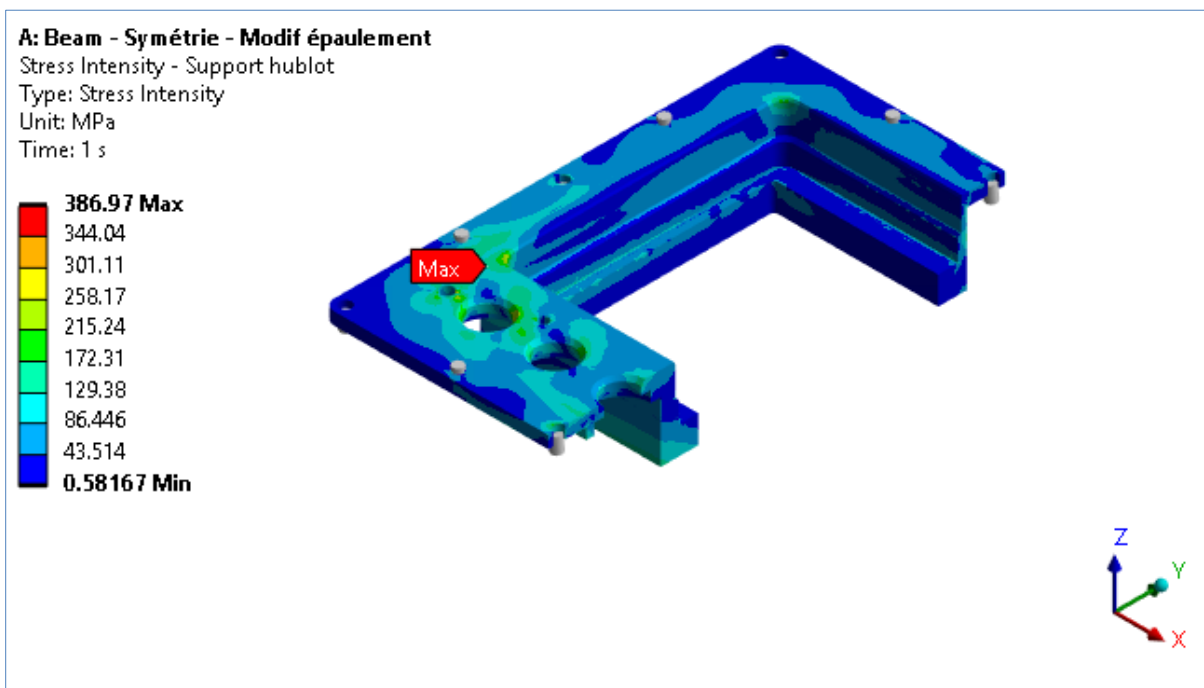
- En orange les contraintes comprises entre $1*f$ et $1.5*f$
- En rouge les contraintes comprises en $1.5*f$ et $3*f$

permet de voir les contraintes sont localisées dépassant f sont localisées uniquement dans les angles.



Tous les critères sur les contraintes primaires sont validés sans linéarisation.

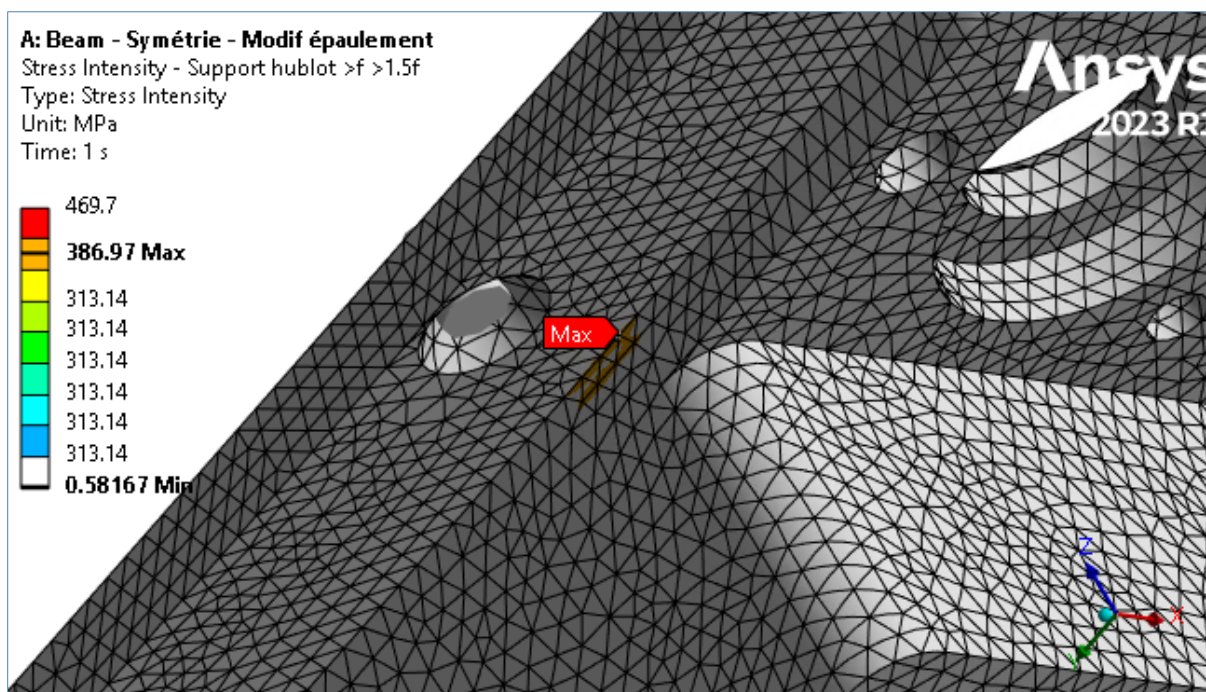
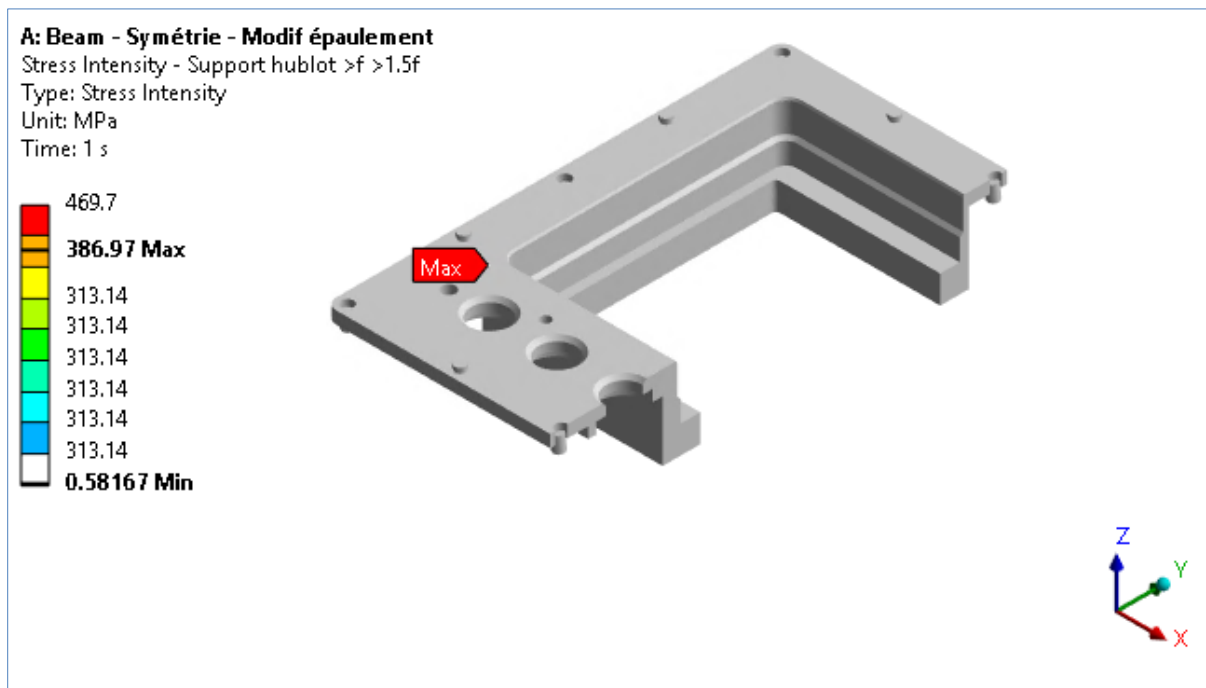
La contrainte totale (non linéarisée) dans le capot est de 386.97 MPa.



Une vue des contraintes avec :

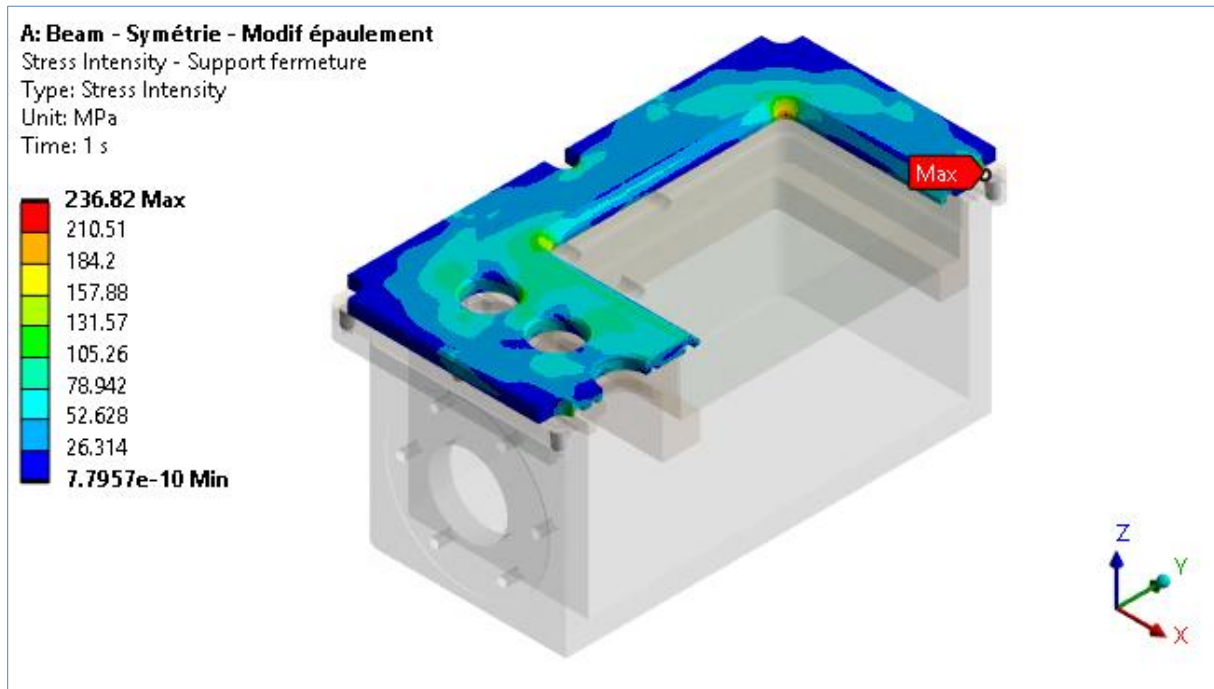
- En orange les contraintes comprises entre $1 \cdot f$ et $1.5 \cdot f$
- En rouge les contraintes comprises en $1.5 \cdot f$ et $3 \cdot f$

permet de voir les contraintes sont localisées dépassant f sont localisées uniquement dans les angles.



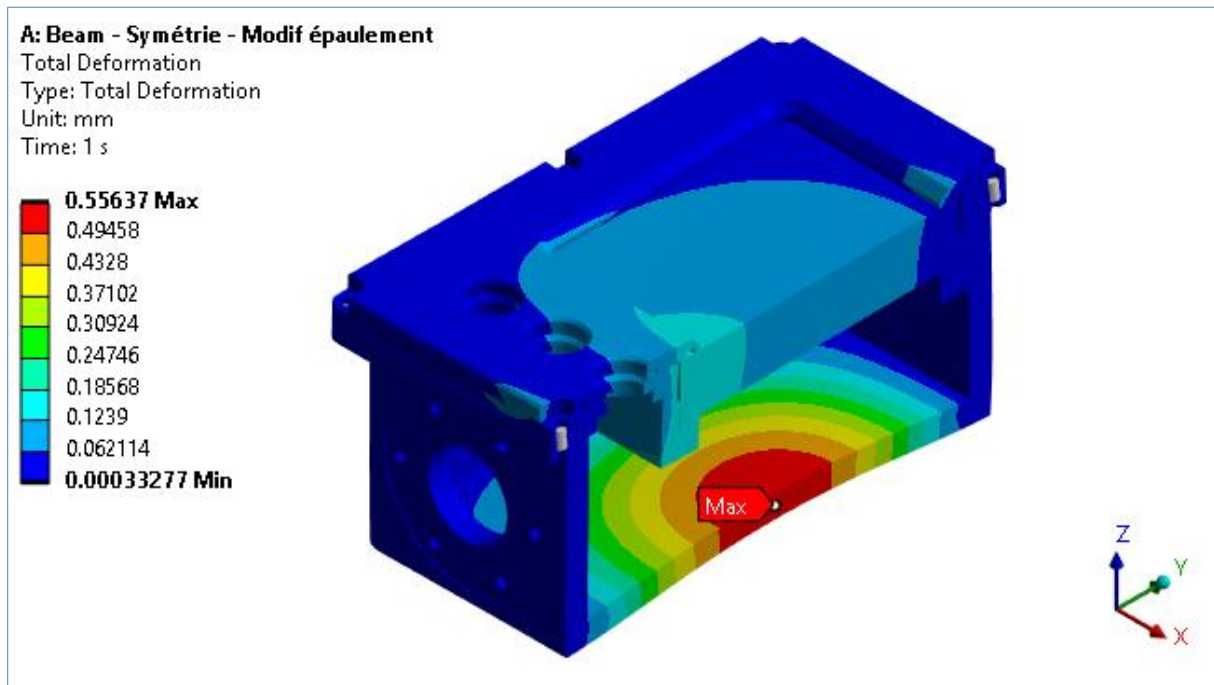
Tous les critères sur les contraintes primaires et secondaires sont validés sans linéarisation.

La contrainte totale (non linéarisée) dans l'anneau est de **236.82 MPa**. Elle est inférieure à $1 \cdot f$.



Tous les critères sur les contraintes primaires et secondaires sont validés sans linéarisation.

3.7.3 Déplacements (pour information)

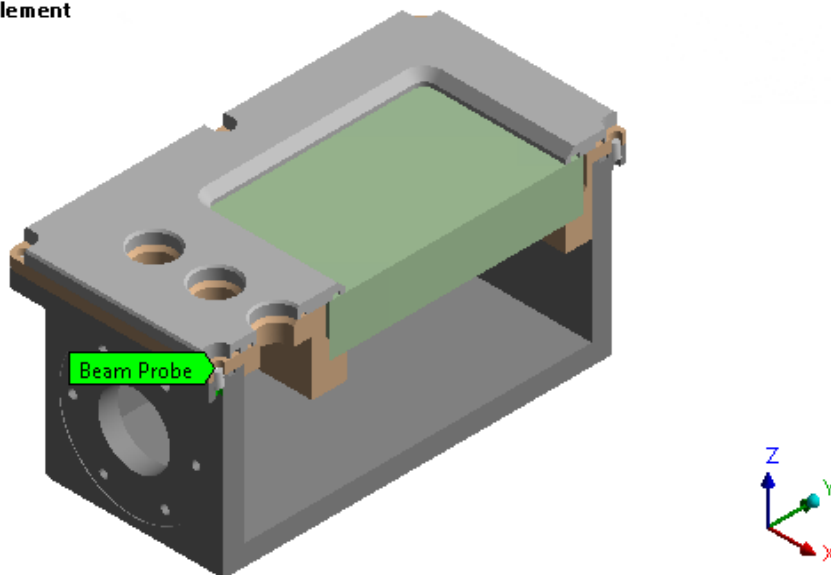


Le déplacement maximum de la pièce est de 0.56 mm au centre de la pièce.

3.7.4 Vérification de la boulonnerie

La charge axiale est maximum dans le boulon M5 qui relie le capot à l'enceinte au milieu de la face avant.

C: Beam - Symétrie - Modif épaulement
Beam Probe



Maximum Value Over Time

☐ Axial Force **1471.1 N**

La section résistante d'un boulon M5 est de 12.7 mm². La contrainte dans le boulon est donc de 1471/12.7 = 115.827 MPa.

Tableau GA5.6.1-2 - Contrainte nominale de calcul pour une situation normale de service sans fluage du matériau

Boulonnerie

Matériau		Contrainte nominale de calcul f		
		Dans le cadre des règles des Sections C3, C6 et C7 ou du Chapitre C10.2	Dans le cadre des règles de l'Annexe C6.A6	Dans le cadre des règles du Chapitre C9 (Note 3)
Aciers au carbone et carbone-manganèse, aciers faiblement alliés et aciers alliés (M2)	Cas général	$\text{MIN} \left\{ \left(\frac{R_{p0.2}^t}{3} \right), \left(\frac{R_m}{5} \right) \right\}$ (Note 2)	$\text{MIN} \left\{ \left(\frac{R_{p0.2}^t}{1.6} \right), \left(\frac{R_m}{2.7} \right) \right\}$	$\text{MIN} \left\{ \left(\frac{R_{p0.2}}{1.6} \right), \left(\frac{R_m}{2.7} \right) \right\}$
	Montage à tiges filetées, rondelles et 2 écrous et serrage contrôlé	$\text{MIN} \left\{ \left(\frac{R_{p0.2}^t}{3} \right), \left(\frac{R_m}{4} \right) \right\}$ (Note 2)	$\text{MIN} \left\{ \left(\frac{R_{p0.2}^t}{1.5} \right), \left(\frac{R_m}{2.4} \right) \right\}$	$\text{MIN} \left\{ \left(\frac{R_{p0.2}}{1.5} \right), \left(\frac{R_m}{2.4} \right) \right\}$
Aciers inoxydables austénitiques (M3)	Cas général	$\frac{R_{p1.0}^t}{2.5}$ ou (Note 1) $\frac{R_m^t}{5}$	$\frac{R_{p1.0}^t}{2}$ ou (Note 1) $\frac{R_m^t}{4}$	$\frac{R_{p1.0}}{2}$ ou (Note 1) $\frac{R_m}{4}$
	Montage à tiges filetées, rondelles et 2 écrous et serrage contrôlé	$\frac{R_{p1.0}^t}{2}$ ou (Note 1) $\frac{R_m^t}{4}$	$\frac{R_{p1.0}^t}{1.5}$ ou (Note 1) $\frac{R_m^t}{3}$	$\frac{R_{p1.0}}{1.5}$ ou (Note 1) $\frac{R_m}{3}$

Note 1 : Au choix du Fabricant

COMEX 36 Bd des Océans - CS 143 13275 MARSEILLE CEDEX 09	Client : AMESYS international Réf. : Appareil : Caisson rectangulaire RAPRR	Rev C 26 / 26
--	--	----------------------

Dans le cas d'un acier inoxydable austéno-ferritique, martinsitique ou ferritique en accord avec la partie M4, M5 ou M6 du CODAP :

- le coefficient de sécurité est de 5 sur la valeur de R_m^t . La valeur mini est donc de $115.827 * 5 = 579.14$ MPa.
- le coefficient de sécurité est de 3 sur la valeur de $R_{p0.2}^t$. La valeur mini est donc de $115.827 * 3 = 347.48$ MPa.

Dans le cas d'un acier inoxydable en accord avec la partie M3 du CODAP, le coefficient de sécurité est de 5 sur la valeur de R_m^t . La valeur mini est donc de $115.827 * 5 = 579.14$ MPa.

Le matériau retenu est du A4-70 dont la valeur de R_m est de 700 MPa, la boulonnerie est donc conforme.

3.8 SYNTHESE

Pour toutes les combinaisons étudiées, les contraintes calculées sont inférieures aux contraintes admissibles. Les éléments sont donc correctement dimensionnés d'après les impositions du code.