 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>PARLYM ENGINEERING</b> Le Monticelli – 1 rue du Docteur Zamenhof L'Estaque – 13016 Marseille – France 04 88 04 08 20		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
	Indice : 00		Date : 26/07/2024

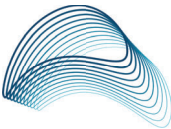
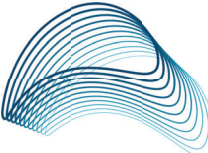
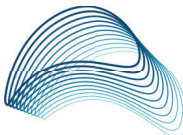


# NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT

## KOK.EA.0000.NC.21014-002


### Projet KoKoMo

Selon CODAP 2022 div 2

<b>Rédacteur : T.ZANELLI</b>	<b>Vérificateur : J.LAMBERT</b>	<b>Approbateur : A.LOUF</b>
<b>Visa :</b>  ZANELLI Thibaud 2024.07.26 14:59:59 +02'00'	<b>Visa :</b>  LAMBERT Josse 2024.07.26 15:01:42 +02'00'	<b>Visa :</b>  Alexandre LOUF 2024.07.26 15:03:11 +02'00'


**HISTORIQUE DES INDICES**

Indice	Paragraphes Concernés	Objet de la révision	Date	Rédacteur
00	Tous	Edition originale	26/07/2024	T.ZANELLI

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 3 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>DOCUMENTS APPLICABLES .....</b>	<b>4</b>
1.1	Documents de référence .....	4
<b>2</b>	<b>PRONONCE DE QUALIFICATION DES OCS .....</b>	<b>5</b>
2.1	Objet.....	5
2.2	Domaine d'utilisation inclus dans Domaine de Validation ou de Validité.....	5
<b>3</b>	<b>RESUME DE L'ETUDE .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>PRESENTATION DE L'ETUDE .....</b>	<b>8</b>
4.1	Objet.....	8
4.2	Exigence de sureté.....	8
4.3	Logiciel utilisé .....	8
4.4	Description de la structure.....	9
4.5	Repère d'étude et système d'unité.....	10
<b>5</b>	<b>MATERIAUX ET CONTRAINTES ADMISSIBLES .....</b>	<b>10</b>
5.1	Caractéristiques Thermiques .....	10
5.2	Caractéristiques mécaniques .....	11
5.3	Caractéristiques de joints .....	11
5.4	Contraintes admissibles dans le cas statique.....	11
5.5	Critères admissibles des volumes .....	13
5.6	Critère admissibles dans les boulons .....	14
<b>6</b>	<b>ETUDE THERMIQUE.....</b>	<b>16</b>
6.1	Préambule.....	16
6.2	Zones d'études.....	17
6.3	Modélisation .....	19
<b>7</b>	<b>ETUDE MECANIQUE .....</b>	<b>27</b>
7.1	Modélisation .....	27
7.2	Conditions aux limites .....	27
7.3	Situation de calcul .....	29
7.4	Critères pour chaque situations de calculs .....	30
7.5	Pression d'assise .....	30
7.6	Calculs de couple de serrage boulon porte et toit .....	31
<b>8</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>33</b>
8.1	Résultats thermodynamiques sur Modeles locaux .....	33
8.2	Modele Global .....	39
8.3	Dimensionnement pré contrainte dans les vis .....	67
8.4	Dimensionnement des soudures .....	80
<b>9</b>	<b>FATIGUE .....</b>	<b>81</b>
9.1	Sollicitation .....	81
9.2	Critère de fatigues .....	81
<b>10</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>88</b>

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 4 / 88

## 1 DOCUMENTS APPLICABLES

### 1.1 DOCUMENTS DE REFERENCE

#### 1.1.1 Documents d'étude

[1]	PV cession matériel	12/01/2024	Demande de devis N° KOK.2E.0000.DP.21014-008
[2]	DEP 31 22 20 31-GEN	February 2021	Pressure Vessels (Based on ASME section VIII)
[3]	KOKOMO_suite point avec parlym 17-04-2024.step	22/04/2024	CAO de l'assemblage KOKOMO
[4]	Chassis poutre_avec coins renforcés.step	13/06/2024	CAO des coins de l'assemblage KOKOMO


#### 1.1.2 Codes et normes applicables

[5]	CODAP DIV.2	Rev.2022	Code de Construction des Appareils à Pression nous soumis à l'action de la flamme
[6]	NF EN 10088-1	Décembre 2014	Acier inoxydable – Partie 1 : Liste des aciers inoxydables
[7]	NF EN 10088-2	Décembre 2014	Acier inoxydables – Partie 2 : Conditions techniques de livraison des tôles et bandes en acier de résistance à la corrosion pour usage général
[8]	NF EN 10269	Décembre 2013	Aciers et alliages de nickel pour éléments de fixation utilisés à température élevée et/ou basse température
[9]	NF ISO 3506-1	Rev.2009	Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion
[10]	RCC-MX	Edition 2008	Section II – Tome 1 – Volume Z : Annexes techniques
[11]	NF EN 25 -030 -2	Août 2014	Fixations - Assemblages vissés à filetage métrique ISO - Partie 2 : règles de conception pour les assemblages précontraints - Démarche complète

#### 1.1.3 Logiciels

[12]	ANSYS version 2021 R1	Logiciel de calcul par éléments finis
[13]	OBXF202239681	OCS de ANSYS version 2021 R1



	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 5 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

## 2 PRONONCE DE QUALIFICATION DES OCS

### 2.1 OBJET

Les résultats de la présente note de calcul ont été obtenus à l'aide du logiciel ANSYS [12]. Il s'agit d'Outils de Calcul Scientifique (OCS).

Conformément à la spécification EDF n°D305919003794 [B] du 14/10/2020 intitulée « Exigences associées à l'utilisation par les sous-traitants d'outils informatiques scientifiques dans le cadre de livrables AIP », « la qualification d'un OCS est la reconnaissance que ces OCS sont aptes à fournir des résultats utilisables dans le cadre de la démonstration de sûreté nucléaire pour l'Etude visée. Pour un OCS, elle se matérialise pour chaque Etude visée par un « Prononcé de Qualification » par l'Utilisateur de l'OCS, dont les éléments de preuve font l'objet d'une traçabilité.

Les différentes étapes de Vérification, Validation, établissement du dossier de Validation et Recette font partie du processus visant à aboutir à la qualification d'un OCS ».

Les documents de Vérification et Validation référencés ainsi que la recette ont été envoyés à EDF et sont archivés sur nos serveurs et consultables sur demande.


L'objet du prononcé de qualification consiste à tracer pour ces OCS les arguments justifiant que le Domaine d'Utilisation des OCS pour cette étude se situe à l'intérieur du Domaine de Validation ou de Validité de ces OCS.

### 2.2 DOMAINE D'UTILISATION INCLUS DANS DOMAINE DE VALIDATION OU DE VALIDITE

Le document de validation référencé SEC 9922 ME DP 048 00 dans la fiche d'identification OBXF202239681 assure que le domaine de validation du logiciel ANSYS version 2021 R1 est conforme à celui de cette étude.

Pour la présente étude, l'OCS Ansys [12] version 2021 R1 est utilisé spécifiquement dans le cas d'éléments de type « poutre » et « coques » pour le dimensionnement mécanique de supports, ce qui correspond bien à un des cas prévus du domaine de validation présenté dans le document référencé SEC 9922 ME DP 048 00.

L'OCS Ansys [12] sont donc bien qualifiés pour la présente étude.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 6 / 88

### 3 RESUME DE L'ETUDE

L'objet de l'étude était de réaliser le prédimensionnement de la structure KoKoMo afin de permettre à l'IRSN de valider sa phase d'Avant-Projet Spécifique. Cependant, les calculs menés dans la présente note ne permettent pas cette validation. En effet, les boulonneries M10 ne sont pas validées en statique ainsi qu'en situation d'assise, les boulonneries M16 ne sont pas validés en situation d'assise et les coins renforcés ne sont pas validés en fatigue.

Les préconisations suivantes permettent de valider l'ensemble des éléments :

- Début de la chauffe des verres 10 minutes avant l'introduction des gaz,
- Apothème entre les modules composants le châssis de 5 mm,
- Les efforts issus de la [4] sont trop important pour valider les piquages. Les efforts maximaux admissibles aux piquages, déterminés par le calcul, sont de :

Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Mx (N.m)	My (N.m)	Mz (N.m)
120	120	120	35	35	35

Tableau 1 : efforts admissibles

Concernant les boulonneries :


Les vis M10-A4 ne sont ni validés en situation de service, ni en situation d'assise. Pour les situations de service il faut a minima passer en M12-A5. Cependant, comme indiqué dans le §8.3.1.1, certaines vis ne pourront être validée en M12-A5. Il est nécessaire de passer les vis des coins en M16-A5.

Pour la pression d'assises les vis M12-A5 présentent un dépassement. Deux solutions sont disponibles :

- Passer toutes les vis en M16-A4,
- Changer le joint pour avoir la pression d'assise de 2.3 MPa.

Pour les vis en M16-A4, la pression d'assise n'est pas validée. Deux solutions sont disponibles :

- Changer les vis M16-A4 en M16-A5
- Passer la pression d'assise en 2.1 MPa.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 7 / 88

Les cas de d'étude fournis dans le document [1] sont les suivants :

Sollicitation	Répartition des gaz	Niveau d'eau (cm)	Température de l'eau	Chauffe des Verres	Activation des parois refroidies et température des parois
Modèle 1 : Mélange homogène, avec parois refroidies désactivées, hublots non chauffants	Mélange homogène	10 cm d'eau	T=20°C	Sans	Sans
Modèle 2 : Mélange stratifié, avec parois refroidies désactivées, hublots non chauffants	½ azote en partie basse ½ vapeur en partie haute	10 cm d'eau	T=20°C	Sans	Sans
Modèle 3 : Mélange homogène, avec parois refroidies activées, hublots non chauffants	Mélange homogène	10 cm d'eau	T=20°C	Sans	Les deux : T = 20°C
Modèle 4 : Mélange stratifié, avec parois refroidies activées, hublots non chauffants	½ azote en partie basse ½ vapeur en partie haute	10 cm d'eau	T=20°C	Sans	Les deux : T = 20°C
Modèle 5 : Mélange homogène, avec parois refroidies désactivées, hublots chauffants	Mélange homogène	10 cm d'eau	T=20°C	Avec les 6 vitres (paroi latérale + porte d'injection) à 150°C	Sans
Modèle 6 : Mélange stratifié, avec parois refroidies désactivées, hublots chauffants	½ azote en partie basse ½ vapeur en partie haute	10 cm d'eau	T=20°C	Avec 4 vitres à 150°C (verres centraux + verres du haut)	Sans
Modèle 7 : Mélange homogène, avec parois refroidies activées, hublots chauffants	Mélange homogène	10 cm d'eau	T=20°C	Avec les 6 vitres (paroi latérale + porte d'injection) à 150°C	Les deux : T = 20°C
Modèle 8 : Mélange stratifié, avec parois refroidies activées, hublots chauffants	½ azote en partie basse ½ vapeur en partie haute	10 cm d'eau	T=20°C	Avec 4 vitres à 150°C (verres centraux + verres du haut)	Les deux : T = 20°C

De manière enveloppe, il a été convenu de n'étudier que les deux modèles jugés les plus critiques. Il s'agit du modèles 6 et 7. En effet les cas sollicitant le plus la structure sont ceux maximisant les gradients entre différentes parties.


- cas 6 : maximise le gradient entre le haut et le bas. En effet sans la paroi refroidie tout le haut chauffe alors que tout le bas reste froid

- cas 7 : maximise le gradient entre horizontale. 3 côtés sont entièrement chauds alors que la paroi refroidie maintient un côté froid.

Dans le cas d'étude le plus critique, la structure atteindra le régime stationnaire après 87 187 s.

Ne sont pas compris dans la présente étude :

- Justification de la tenue au séisme de l'enceinte,
- Justification de la tenue mécanique de la paroi refroidie, du DELTHERM et de la mousse en silicone,
- La prise en compte du fluage car la température de fonctionnement est inférieure à 400°C,
- La justification des éléments du commerce.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 8 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

## 4 PRESENTATION DE L'ETUDE

### 4.1 OBJET

Dans le cadre de son projet PASTIS (Passive Systems Thermalhydraulic Investigations For Savety), l'IRSN souhaite étudiée le refroidissement d'une enceinte immergée qui sera portée par l'installation KoKoMo (Condensation in a COntainment Model Facility).

L'objet de l'étude est de réaliser le prédimensionnement de la structure KoKoMo afin de permettre à l'IRSN de valider sa phase d'Avant-Projet Spécifique. Cette étude comprendra :

- L'étude thermique de l'enceinte,
- Le calcul de la tenue thermomécanique de l'enceinte,
- Le calcul de fatigue.

### 4.2 EXIGENCE DE SURETE

L'évaluation globale des facteurs potentiels de défaillance et des conséquences d'une défaillance éventuelle est considéré comme importante par l'IRSN. De ce fait, la catégorie de construction minimum des appareils est la catégorie B1 selon le CODAP 2022 [5].

### 4.3 LOGICIEL UTILISE

Le dimensionnement de l'installation KoKoMo est réalisé avec Workbench 2021R1 [12].

#### 4.4 DESCRIPTION DE LA STRUCTURE

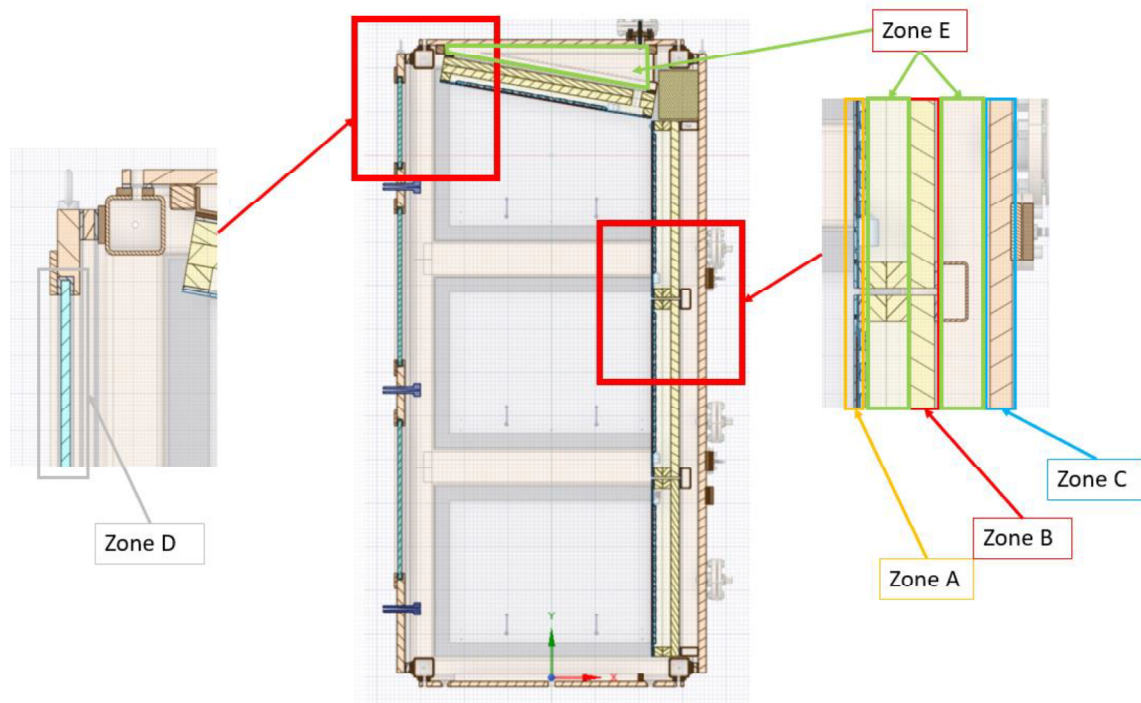


Figure 1 : Disposition des matériaux

	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D	Zone E	Zone extérieure(*)
Matériau	Paroi refroidit 316 L	DELATHERM	Paroi en acier 316 L	Verre	Mousse	Calorifuge

Tableau 2 : Disposition des matériaux

Du calorifuge est présent sur l'extérieure de la structure (Verre compris) avec une épaisseur de 25mm.

Pour le fond de l'enceinte, une largeur de 100 mm sur le contour du fond sera en contact avec de l'acier. Le reste du fond sera calorifugé.

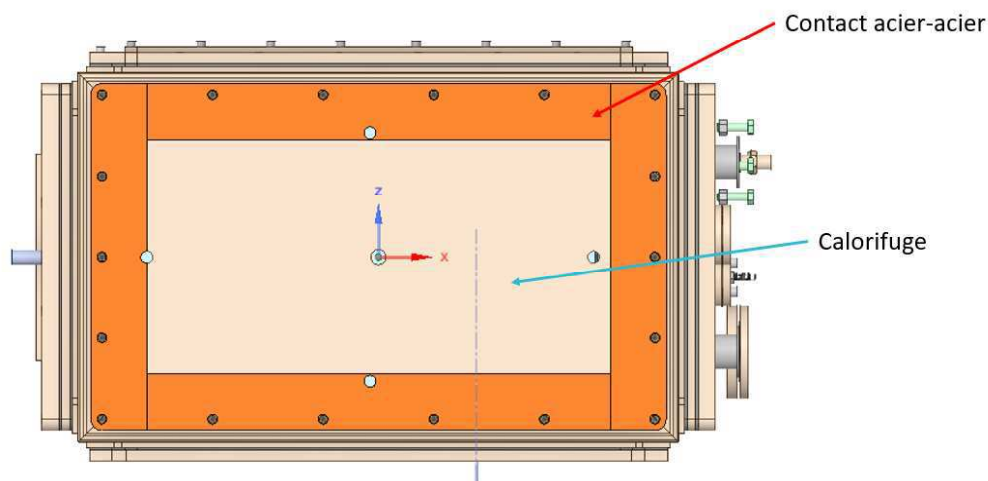
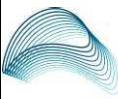


Figure 2 : Délimitation Calorifuge fond de l'enceinte

 <div><div>PARLYM</div><div>ENERGIES &amp; SYNERGIES</div><div>PARLYM ENGINEERING</div></div>	<div>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</div> <div>Projet KoKoMo</div> <div>Selon CODAP 2022 div 2</div> <div>KOK.EA.0000.NC.21004-002</div>		Réf Client : <div>21014</div>	
			Réf Parlym : <div>PNG 230560 EQ NC 002</div>	
			Indice : <div>00</div>	Page : <div>10 / 88</div>

## 4.5 REPERE D'ETUDE ET SYSTEME D'UNITE

Les repères de calculs sont précisés dans chaque étude si nécessaire. Dans un souci de simplicité pour la mise en donnée du modèle, le post-traitement des résultats et l'analyse des critères, le système d'unité suivant a été adopté. Ces unités sont cohérentes et induisent les mêmes résultats thermiques et mécaniques que le système SI :

Dimension	Unité
Longueur	Millimètre (mm)
Masse	Tonne (t)
Effort	Newton (N)
Contraintes	Méga Pascal (MPa)
Temps	Seconde (s)
Température	Degrés Celsius (°C)
Accélération	m/s <sup>2</sup>

Tableau 3 : Unités

## 5 MATERIAUX ET CONTRAINTES ADMISSIBLES

Les matériaux utilisés pour l'étude sont issus du document [1]. Les « données matériaux » utilisées sont issues, d'une part du document [1] et d'autre part des normes [6], [7] et [10].

### 5.1 CARACTERISTIQUES THERMIQUES

La disposition des matériaux est donnée dans « Figure 1 : Disposition des matériaux ». Les données thermiques de chaque matériau est fourni ci-dessous.

Zone	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D	Zone E	Zone Extérieure
Matériau	316 L	DEL THERM	316 L	Verre	Mousse	Calorifuge
Conductivité thermique	15 W/(m.K) (*)	0.24 W/(m.K)	15 W/(m.K) (*)	1.12 W/(m.K) à 90 °C	3.5x10 <sup>-2</sup> W/(m.K)	0.045 W/(m.K)
Chaleur spécifique	500 J/(Kg.K) (*)	1040 et 1250 J/(Kg.K)	500 J/(Kg.K) (*)	830 KJ/(Kg.K)	1000 J/(Kg.K)	1000 J/(Kg.K)
Masse volumique	8000 kg/m <sup>3</sup> (*)	1900 kg/m <sup>3</sup>	8000 kg/m <sup>3</sup> (*)	47660 (**)kg/m <sup>3</sup>	Négligeable	290 kg/m <sup>3</sup>

(\*) Valeur Issue de la NF EN 10088-1 [6].

Tableau 4 : Caractéristiques thermiques des matériaux

Comme indiqué dans le document [1], la masse de la vitre doit être prise égale au plus pénalisant entre 33 kg et 300 kg. Il a été décidé de dimensionner la structure avec 300 kg sur les grandes vitres, ce qui revient à imposer une masse volumique de 47 660 kg/m<sup>3</sup> dans le modèle élément fini.

**Nota :** Dans le modèle mécanique, la gravité a été prise égale à 1.2g afin de prendre en compte la spécification d'une majoration de masse de 20%. Celle-ci a été appliquée de manière pénalisante aussi au verre.



## 5.2 CARACTERISTIQUES MECANQUES

La disposition des matériaux est donnée dans « Figure 1 : Disposition des matériaux ». Les données mécaniques de l'acier 316L (équivalent X2CrNiMo17-12-2) sont issues de la NF EN 10088-2 [7], du RCCMX [10] Annexe X3.3S et sont fournies ci-dessous.

Température	Module d'Young (GPa)	Coefficient de dilation thermique moyen ( $10^{-6}/K$ )	Limite élastique $R_{p1.0}$ (MPa)	Limite à rupture (MPa)
20	200	15.3	260	520
100	193	15.9	199	/
150	189	16.2	181	/
200	185	16.6	167	/

Tableau 5 : Caractéristiques mécaniques du 316L

Hypothèse : les limites admissibles sont prises pour des épaisseurs inférieures à 75 mm. Il est supposé que celles-ci soient aussi admissible pour les coins massiques qui sont d'épaisseur 80 mm.

Les caractéristiques mécaniques des boulons A4 et A5, à 20°C, sont issues de la norme NF ISO 3506-1 [9]. La boulonnerie est en acier inoxydable A4 (X2CrNiMo17.12).

Boulonnerie	Limite élastique $R_{p0.2\%}$ à 20°C(MPa)	Limite à rupture à 20°C (MPa)	Limite élastique $R_{p0.2\%}$ à 150°C(MPa)	Limite à rupture à 150°C (MPa)
A4	450	700	360	560
A5	600	800	480	640

Tableau 6 : Caractéristiques mécaniques du A4

## 5.3 CARACTERISTIQUES DE JOINTS

Les caractéristiques des joints sont issues du document [1] :

Joint	Epaisseur (mm)	Pression d'assise (MPa)	Coefficient de serrage (m)	Shore
EPDM	5	2.7	1(*)	60

Tableau 7 : Caractéristiques mécaniques des joints

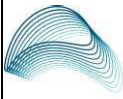
(\*)Le tableau C6.A2.2 du CODAP 2022 [5] préconise pour des joints ayant un « Shore < 75 » un coefficient de serrage de 0.5 avec une pression d'assise de 0 MPa. Comme la pression d'assise à appliquer est de 2.7 MPa, il a été décidé, de manière conservatrice, de considérer le coefficient de serrage « m » considéré est de 1.

## 5.4 CONTRAINTES ADMISSIBLES DANS LE CAS STATIQUE

### 5.4.1 Plaques et tôles

L'acier 316L est un acier inoxydable avec un allongement de 40% selon le [6]. D'après le CODAP 2022 [5], la contrainte nominale de calcul pour une situation normale de service sans fluage de matériau  $f_1$  est défini par la formule suivante :

$$f_1 = \frac{R_{p1.0}^t}{1.5}$$

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 12 / 88

La contrainte nominale de calcul pour une situation exceptionnelle de service ou d'essai de résistance est donné par la formule :

$$f_{essai} = 0.95 \times R_{p1,0}^t$$

#### 5.4.2 Boulonnerie

La contrainte nominale de calcul, dans la situation normale de service, pour la boulonnerie de liaison de la structure est définie par la formule du tableau GA4.6.1-2 du CODAP 2022 [5] :

$$f_{boulon\_structure\_normal} = \min \left( \frac{R_{p0,2}^t}{3}; \frac{R_m}{5} \right)$$

La contrainte nominale de calcul, dans la situation normale de service, pour la boulonnerie de bride est définie par la formule du tableau GA4.6.1-2 du CODAP 2022 [5] :

$$f_{boulon\_bride\_normal} = \min \left( \frac{R_{p0,2}^t}{1.6}; \frac{R_m}{2.7} \right)$$

#### 5.4.3 Soudures

Conformément au paragraphe GA4.4 du CODAP 2022 [5], pour les équipements dont la catégorie de construction est B1, alors les coefficients de soudure sont égaux à  $z=0.85$ .

Le calcul des soudures d'angles est réalisé avec la méthode suivante :

Le flux d'effort dans les soudures est calculé à partir des sommes des efforts sur les nœuds.

Le repère de la soudure est considéré comme le suivant :

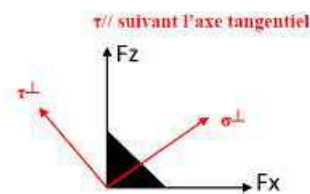


Figure 3 : Repère de la soudure

Le calcul des contraintes dans la soudure est le suivant :

$$\sigma_{perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{F_x + F_z}{a \times d}$$

$$\tau_{perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{F_x + F_z}{a \times d}$$

$$\tau_{par} = \frac{F_y}{a \times d}$$

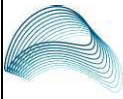
Avec :

$a$  : l'apothème minimal de la soudure

$d$  : la taille de l'élément observé

$$\sigma_{VMsoudure} = \sqrt{\sigma_{perp}^2 + 3 \times (\tau_{perp}^2 + \tau_{par}^2)}$$



 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 13 / 88

La valeur de la contrainte de Von Mises calculée sera comparée à l'admissible  $f$  dans les cas étudiés. Cela se résume par :

$$\begin{cases} \sigma_{VMsoudure} < f_{20^{\circ}C} & \text{Pour le cas PP + Pression + effort exterieur} \\ \sigma_{VMsoudure} < 3 \times f_{150^{\circ}C} & \text{Pour le cas PP + Pression + Thermique + effort exterieur} \end{cases}$$

## 5.5 CRITERES ADMISSIBLES DES VOLUMES

D'après le §C10.2.6 du CODAP 2022 [5], le tableau ci-dessous indique la classification à adopter les différents éléments suivants :

Elément d'appareil	Zone considérée	Type de contrainte	Origine des contraintes		
			Sollicitations de type pression	Autres actions mécaniques	Sollicitations thermiques
Fond plat raccordé à une enveloppe / Paroi d'un appareil à parois planes	Toute zone sauf au voisinage d'un raidisseur	$(\sigma_{ij})_m$	$P_m$		$Q_m$
		$(\sigma_{ij})_b$	$P_b$		$Q_b$
	Voisinage d'un raidisseur	$(\sigma_{ij})_m$	$P_m$		$Q_m$
		$(\sigma_{ij})_b$	$Q_b$	$P_b$	$Q_b$
Tubulure	Voisinage du raccordement avec un fond plat ou une paroi plane	$(\sigma_{ij})_m$	$P_L$		$Q_m$
		$(\sigma_{ij})_b$	$P_b$ ou $Q_b$	$P_b$	$Q_b$

Tableau 8 : Critères admissibles des volumes

$(\sigma_{ij})_m$  : Contrainte de membrane

$(\sigma_{ij})_b$  : Contrainte de flexion

$P_m$  : Contrainte primaire générale de membrane

$P_L$  : Contrainte primaire locale de membrane


$P_b$  : Contrainte primaire de flexion

$Q_b$  : Contrainte secondaire de flexion

$Q_m$  : Contrainte secondaire de membrane

**Nota** : La contrainte équivalente utilisée dans l'ensemble du document est la contrainte de **Tresca** conformément au §C10.2.3.7 du CODAP 2022 [5].

**Nota** : La prise en compte du coefficient de soudure  $z$  n'intervient qu'en présence de soudure bout à bout. Sur les bases des CAO [3] et [4] aucune soudure bout à bout n'a été détectée. De ce fait, la mise en place des soudures devra être conforme au paragraphe FA.1 du [5] et aucune justification complémentaire de soudure ne sera nécessaire.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 14 / 88

### 5.5.1 Contrainte primaire de membrane

Dans les zones éloignées de toute discontinuité majeure ou de tout point d'application d'un effort local extérieur, la contrainte équivalente primaire générale de membrane  $\sigma_{eq_{pm}}$  doit vérifier l'inégalité :

$$\sigma_{eq_{pm}} \leq f$$

### 5.5.2 Contrainte primaire totale (contrainte de membrane + flexion)

La contrainte équivalente primaire totale doit, en tous points, vérifier l'inégalité :

$$\sigma_{eq_p} \leq 1.5 \times f$$

### 5.5.3 Contrainte résultantes (Primaires plus secondaires)

La variation équivalente des contraintes résultantes  $(\Delta\sigma_{eq})_R$ , doit, en tous points, vérifier l'inégalité :

$$(\Delta\sigma_{eq})_R \leq 3 \times f$$

Dans laquelle f est la moyenne des valeurs de la contrainte nominale de calcul relative à chacune des deux situations normales de service entre lesquelles a été déterminé  $(\Delta\sigma_{eq})_R$ .

## 5.6 CRITERE ADMISSIBLES DANS LES BOULONS

L'annexe C10.A1 du CODAP 2022 [5] permet d'analyser les contraintes dans la boulonnerie.

### 5.6.1 Contraintes équivalentes

La contrainte équivalente moyenne dans la section droite du noyau, donnée par la formule :

$$(\sigma_{eq})_{moy} = \sqrt{\left(\frac{N}{S}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{T}{S} + \frac{0.75 \times 16 \times M_t}{\pi \times d_n^3}\right)^2}$$

La contrainte équivalente moyenne dans la section droite du noyau, donnée par la formule :

$$(\sigma_{eq})_{max} = \sqrt{\left(\frac{N}{S} + \frac{32 \times M}{\pi \times d_n^3}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{T}{S} + \frac{16 \times M_t}{\pi \times d_n^3}\right)^2}$$

Avec :

- d : Diamètre nominal d'un élément fileté
- $d_n$  : Diamètre du noyau d'une vis, d'un goujon ou d'une tige filetée
- M : Moment de flexion
- $M_t$  : Moment de torsion
- N : Effort axial
- S : Section du noyau
- T : Effort tranchant

## 5.6.2 Critères d'admissibilité des contraintes

### 5.6.2.1 Préambule

Les critères ci-dessous s'appliquent seuls aux éléments de boulonnerie normalisés à in filetage à filetage triangulaire au profil ISO 68-1 pour autant que les conditions suivantes soient respectées :

- Les écrous ont une hauteur au moins égale à  $0.8 d$  et sont d'une classe de qualité au moins égale à celle des vis, tiges filetées ou goujons.
- La longueur d'engagement des filets d'une vis ou d'un goujon est au moins égal à :

$$\text{Max} \left\{ (0.8 \times d); 0.8 d \frac{(R_p)_{vis}}{(R_p)_{pièce}} \right\}$$

$(R_p)_{vis}$  : Valeur minimale garantie de la limite conventionnelle d'élasticité à la température ambiante du matériau de la vis ou du goujon

$(R_p)_{pièce}$  : Valeur minimale garantie de la limite conventionnelle d'élasticité à la température ambiante du matériau de la pièce d'implantation

En cas de non respecté de ces critères, il sera nécessaire de se référencer au §C10.A1.4.2 du CODAP 2022 [5]

### 5.6.2.2 Situation de service ou d'assise du joint

Les critères applicables pour une situation normale de service et pour la situation d'assise du joint sont les suivants :

La contrainte équivalente moyenne  $(\sigma_{eq})_{moy}$  doit vérifier l'inégalité :

$$(\sigma_{eq})_{moy} \leq 2 \times f$$

La contrainte équivalente moyenne  $(\sigma_{eq})_{max}$  doit vérifier l'inégalité :

$$(\sigma_{eq})_{max} \leq 3 \times f$$

La pression de contact moyenne sur la surface d'appui d'un élément de boulonnerie ne doit pas excéder la plus faible des valeurs minimales garanties de la limite conventionnelle d'élasticité  $R_p^t$ .


### 5.6.2.3 Situation exceptionnelle de service ou d'essai de résistance

Les critères applicables pour la situation exceptionnelle de service ou d'essai de résistance sont les suivants, pour les cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation :

La contrainte équivalente moyenne  $(\sigma_{eq})_{max}$  doit vérifier l'inégalité :

$$(\sigma_{eq})_{max} \leq 3 \times f$$

La pression de contact moyenne sur la surface d'appui d'un élément de boulonnerie ne doit pas excéder la plus faible des valeurs minimales garanties de la limite conventionnelle d'élasticité  $R_p^t$ .

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 16 / 88

## 6 ETUDE THERMIQUE

L'objectif de ce calcul est de définir les températures des parois de l'enceinte à prendre en considération pour l'étude de la tenue thermomécanique de l'enceinte avec ces internes, et de définir le cas de calcul le plus pénalisant. En effet, en présence des internes, la température de la structure restera basse, l'enveloppe composée de DELTHERM faisant office de barrière thermique.

A l'instant  $t = 0s$ , la température de l'ensemble du dispositif est à température ambiante ( $20^{\circ}C$ ) ainsi que la température des incondensables. Par la suite, la vapeur sera injectée à l'intérieur de l'enceinte à une température de  $140^{\circ}C$  jusqu'à obtention du régime permanent.

### 6.1 PREAMBULE

Les modules vitrés ainsi que les modules instrumentés diffèrent légèrement de la CAO [3]. La modification suivante y a été apportée :

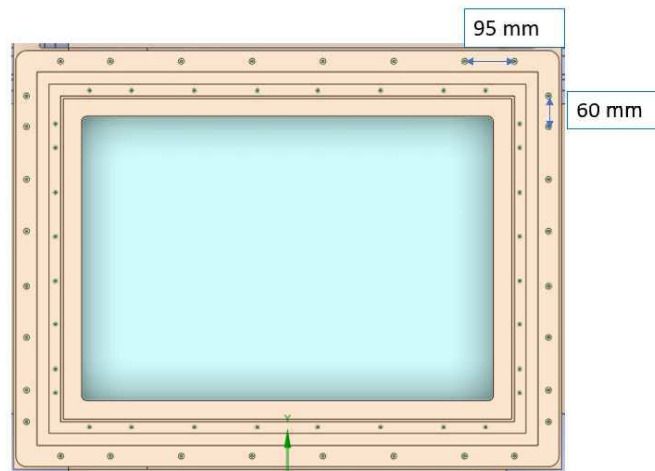


Figure 4 : Modification de géométrie

La CAO [4] a été utilisée pour la modélisation des coins.

## 6.2 ZONES D'ETUDES

Les zones d'études sont définies dans le document [1] et sont résumé ci-dessous.

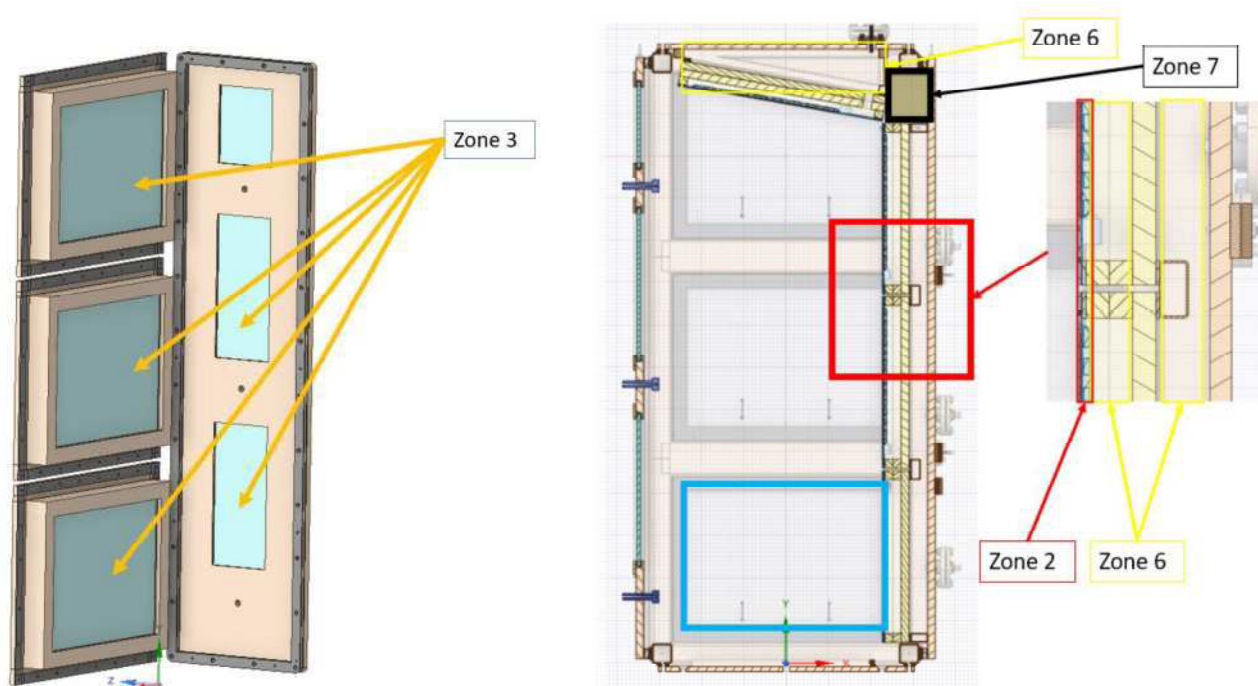


Figure 5 : Zones d'échanges thermiques partie 1/2

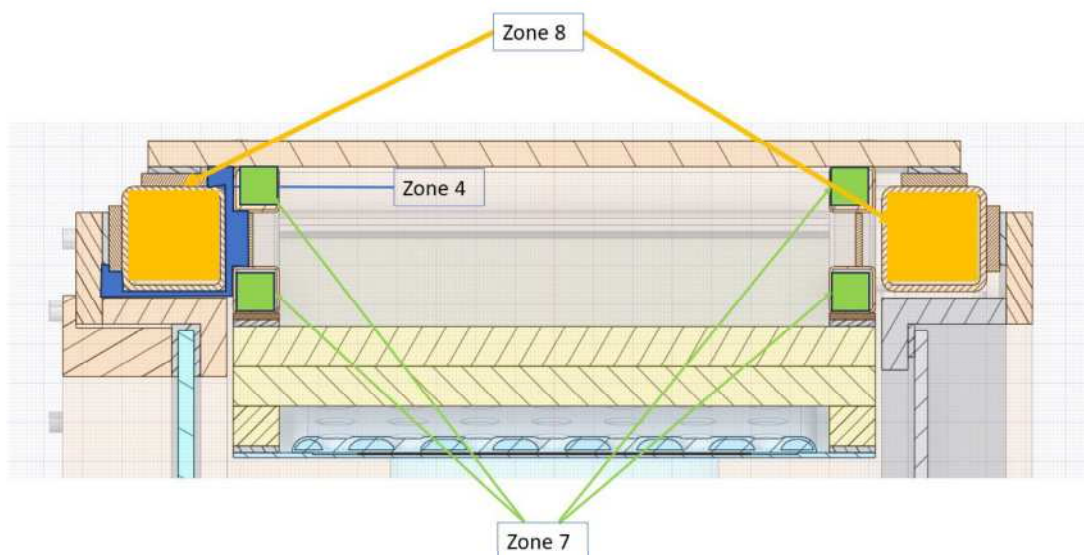



Figure 6 : Zones d'échanges thermiques partie 2/2

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>					Réf Client : 21014		
						Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002		
						Indice : 00	Page : 18 / 88	

Les zones sont définies comme telles :

- Zone 1 : Intérieur de l'enceinte hors parois condensantes et verres
- Zone 2 : Intérieur de l'enceinte au niveau des parois condensantes
- Zone 3 : Verres
- Zone 4 : Zones mortes
- Zone 5 : Calorifuge (non modélisée dans la CAO)
- Zone 6 : Zone Morte
- Zone 7 : Intérieur tubes soutenant le couvercle (Pression de calcul)
- Zone 8 : Tubes extérieurs percés (pression atmosphérique)

Zones	1	2	3	4	5	6	7	8
Température initiale	20°C							
Température de calcul	150°C pour la vapeur d'eau ou mélange vapeur / azote 20°C pour les incondensables	Si parois non désactivées idem zone 1 Sinon Température imposée des parois de 20°C	Si non chauffés idem zone 1 Sinon Température imposée des parois à 150°C	Température à définir	Température à définir	20°C	Température à définir	20°C
Coefficient d'échange	10 000 W/K/m² dans la zone vapeur en écoulement stratifié 20 W/K/m² dans la zone incondensable 1000 W/K/m² si non stratifié 2 W/K/m² dans la zone liquide	Si parois non désactivées idem zone 1 Sinon Température imposée des parois de 20°C	Idem zone 1	Gaz inerte assimilé à un matériau de conductivité 2,4.10-2 W/m/K	Conductivité thermique du calorifuge 5.9.10-2 W/m/K	Air ambient 20 W/K/m²	Gaz inerte assimilé à un matériau de conductivité 2,4.10-2 W/m/K	20 W/K/m² dans la zone incondensable
Pression	0.15 bars + pression hydrostatique (*)	0.15 bars+ pression hydrostatique (*)	0.15 bars	0.15 bars	0.15 bars	0.15 bars	0.15 bars	0

Tableau 9 : Conditions thermiques

(\*) La pression hydrostatique est considérée comme négligeable du fait la faible hauteur d'eau (10 cm).



Deux configurations de calculs sont considérées :

Sollicitations	Répartition des gaz	Niveau d'eau (cm)	Température de l'eau	Chauffe des Verres	Activation des parois refroidies et température des parois
Modèle 6 : Mélange stratifié, avec parois refroidies désactivées, hublots chauffants	½ azote en partie basse ½ vapeur en partie haute	10 cm d'eau	T=20°C	Avec 4 vitres à 150°C (verres centraux + verres du faut)	Sans
Modèle 7 : Mélange homogène, avec parois refroidies activées, hublots chauffants	Mélange homogène	10 cm d'eau	T=20°C	Avec les 6 vitres (paroi latérale + porte d'injection) à 150°C	Les deux : T = 20°C

Tableau 10 : Modèles étudiés

## 6.3 MODELISATION

### 6.3.1 Modèle local

#### 6.3.1.1 Géométrie

Deux modèles locaux thermiques ont été réalisés afin de remplir les trois objectifs suivants :

- Faire une analyse de sensibilité sur le comportement des contraintes dans le temps afin de déterminer les durées de calcul,
- Déterminer la nécessité de faire une analyse temporelle pour l'analyse des contraintes,
- Déterminer la nécessité ou non de modéliser l'air dans les calculs thermiques.

Les deux zones locales sont détaillées ci-dessous :

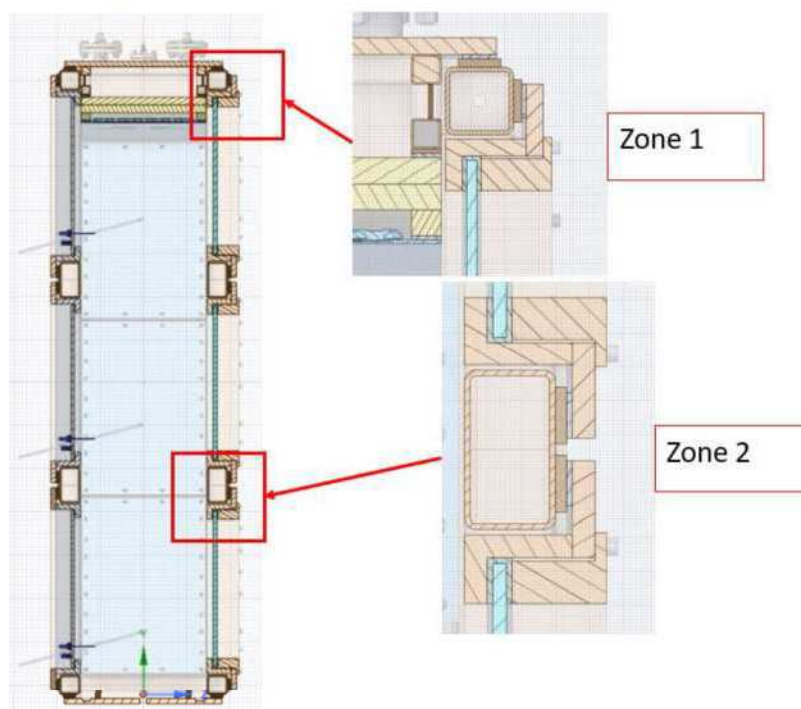


Figure 7 : modèles locaux

### 6.3.1.2 Matériaux

#### 6.3.1.2.1 Zone 1

Les matériaux de la zone 1 ainsi que leur disposition dans la structure sont détaillés ci-dessous :

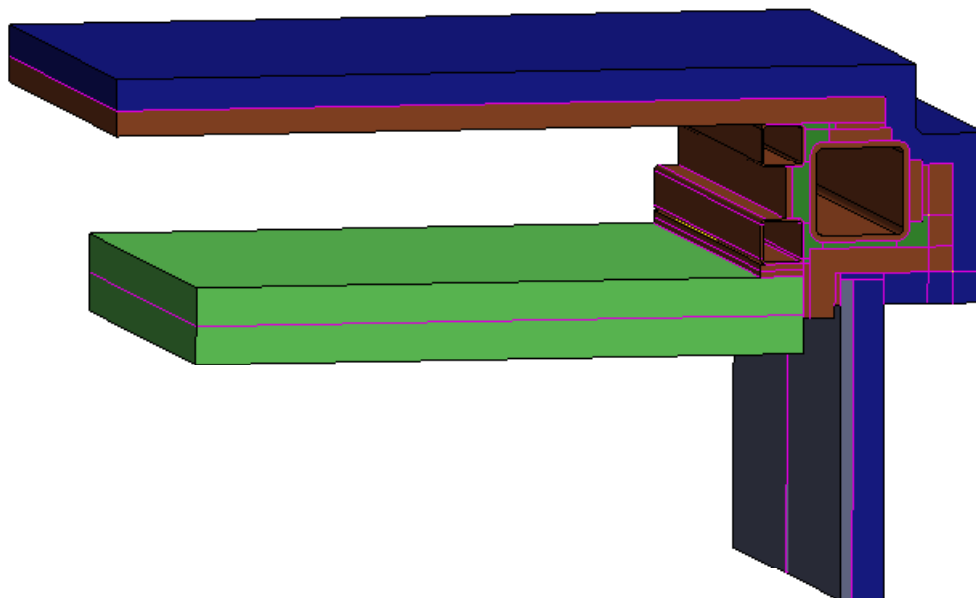


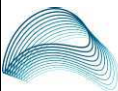
Figure 8 : Matériaux dans la zone 1

Les correspondances entre les couleurs présentes dans la Figure 8 et les matériaux sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Couleur	Matériaux
Blue	Calorifuge
Brown	316 L
Green	Delterm
Purple	Joint
Dark Green	Air

Tableau 11 : Correspondance entre matériaux et couleurs dans la zone 1



 <div><div>PARLYM</div><div>ENERGIES &amp; SYNERGIES</div><div>PARLYM ENGINEERING</div></div>	<div><div>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</div><div>Projet KoKoMo</div><div>Selon CODAP 2022 div 2</div><div>KOK.EA.0000.NC.21004-002</div></div>	Réf Client : 21014	
		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
		Indice : 00	Page : 21 / 88

### 6.3.1.2.2 Zone 2

Les matériaux de la zone 2 ainsi que leur disposition dans la structure sont détaillés ci-dessous :

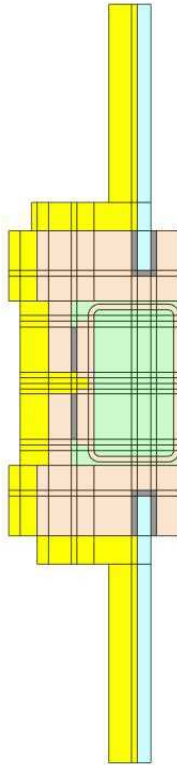


Figure 9 : Matériaux dans la zone 2

Les correspondances entre les couleurs présentes dans la Figure 9 et les matériaux sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Couleur	Matériaux
Yellow	Calorifuge
Light Blue	316 L
Dark Grey	Joint assimiler à l'acier
Light Green	Air
Light Cyan	Verre

Tableau 12 : Correspondance entre matériaux et couleurs dans la zone 2

### 6.3.1.3 Conditions thermiques

#### 6.3.1.3.1 Zone 1

Les conditions thermiques mises en place pour le modèle local sont présentées ci-dessous :

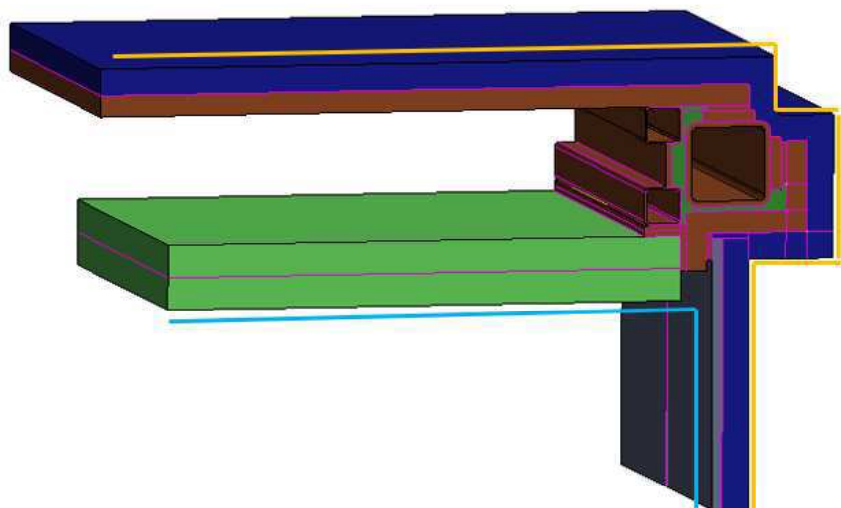


Figure 10 : Chargements thermiques cas local zone 1

Les correspondances entre les couleurs présentes dans la Figure 10 et les conditions thermiques sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Couleur	Conditions thermiques
Blue	Convection 150 °C, 10000W/m <sup>2</sup> .°C
Green	Convection 20°C, 20W/m <sup>2</sup> .°C

Tableau 13 : Correspondance entre conditions thermiques et couleurs dans la zone 1

#### 6.3.1.3.2 Zone 2

Les conditions thermiques mises en place pour le modèle local sont présentées ci-dessous :

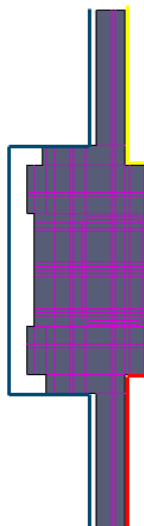


Figure 11 : Chargements thermiques cas local

Les correspondances entre les couleurs présentes dans la Figure 11 et les conditions thermiques sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Couleur	Conditions thermiques
	Convection 150 °C, 10000W/m².°C
	Convection 150°C, 20W/m².°C
	Air à 20°C, 20W/m².°C

Tableau 14 : Correspondance entre conditions thermiques et couleurs dans la zone 2

### 6.3.2 Modèle Global

#### 6.3.2.1 Géométrie et matériaux

La cuve n'ayant pas de plan de symétrie, la totalité de la structure est entièreset. Les matériaux sont détaillés ci-dessous.

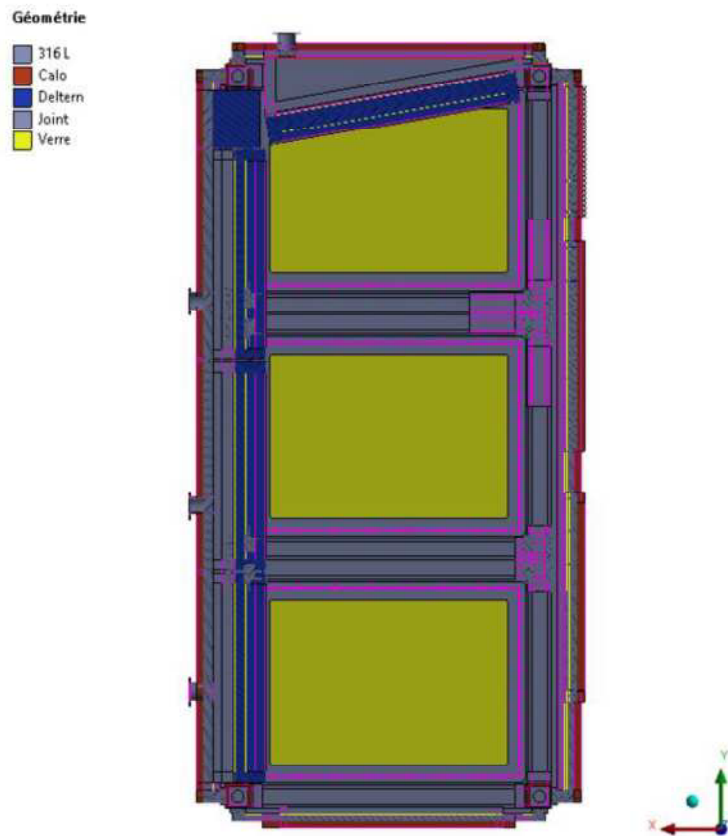


Figure 12 : Géométrie et matériaux

Couleur	Matériaux
	316 L
	Calorifuge
	Deltherm
	Joint
	Verre

Tableau 15 : Disposition des matériaux dans la structure

6.3.2.2 Conditions thermiques pour le cas de modèle 6

Pour rappel, le modèle 6 correspond au cas de charge suivant :

Sollicitation	Répartition des gaz	Niveau d'eau (cm)	Température de l'eau	Chauffe des Verres	Activation des parois refroidies et température des parois
Modèle 6 : Mélange stratifié, avec parois refroidies désactivées, hublots chauffants	½ azote en partie basse ½ vapeur en partie haute	10 cm d'eau	T=20°C	Avec 4 vitres à 150°C (verres centraux + verres du faut)	Sans

Tableau 16 : Conditions d'études modèle 6

- A Exterieur: 20. °C, 20. W/m².°C
- B Interieur bas: 20. °C, 20. W/m².°C
- C Interieur haut: 150. °C, 10000 W/m².°C
- D Interieur bas poutre: 20. °C, 20. W/m².°C
- E Interieur haut poutre: 150. °C, 10000 W/m².°C
- F fond: 20. °C, 2. W/m².°C

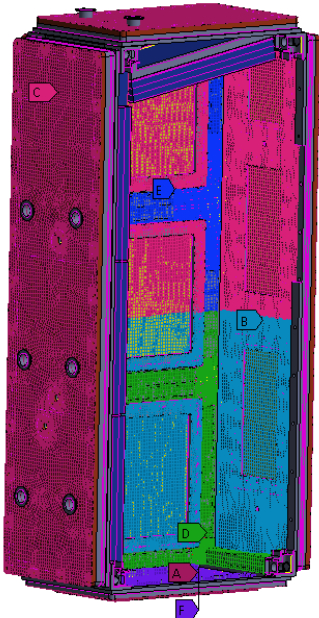


Figure 13 : Chargements thermiques pour le modèle 6 (1/3)

- A refroidisseur haut: 150. °C, 10000 W/m².°C
- B refroidisseur bas: 20. °C, 20. W/m².°C

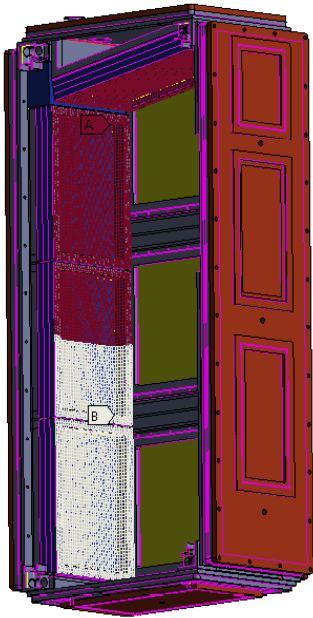


Figure 14 : Chargements thermiques pour le modèle 6 (2/2)

- Verre: 150. °C

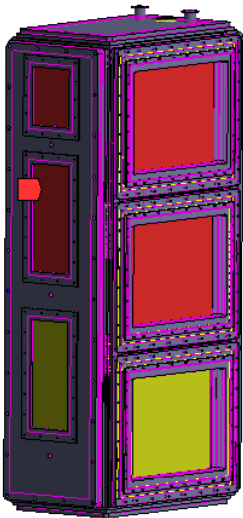
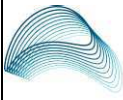


Figure 15 : Chargements thermiques pour le modèle 6 sur les verres (3/3)

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 25 / 88

Zone	Modèle 6
Extérieur	Convection 20°C, 20 W/m².°C
Intérieur bas	Convection 20°C, 20 W/m².°C
Intérieur haut	Convection 150°C, 10000 W/m².°C
Intérieur bas poutre	Convection 20°C, 20 W/m².°C
Intérieur haut poutre	Convection 150°C, 10000 W/m².°C
Fond	Convection 20°C, 2 W/m².°C
Refroidisseur haut	Convection 150°C, 10000 W/m².°C
Refroidisseur bas	Convection 20°C, 20 W/m².°C
Verre	Température imposée sur les 4 verres, 150°C

Tableau 17 : Conditions d'études modèle 6

### 6.3.2.3 Conditions thermiques pour le cas de modèle 7

Pour rappel, le modèle 7 correspond au cas de charge suivant :

Sollicitation	Répartition des gaz	Niveau d'eau (cm)	Température de l'eau	Chauffe des Verres	Activation des parois refroidies et température des parois
Modèle 7 : Mélange homogène, avec parois refroidies activées, hublots chauffants	Mélange homogène	10 cm d'eau	T=20°C	Avec les 6 vitres (paroi latérale + porte d'injection) à 150°C	Les deux : T = 20°C

Tableau 18 : Conditions d'études modèle 7

A Extérieur: 20. °C, 20. W/m².°C  
B Intérieur bas: 150. °C, 1000. W/m².°C  
C Intérieur haut: 150. °C, 1000. W/m².°C  
D Intérieur bas poutre: 150. °C, 1000. W/m².°C  
E Intérieur haut poutre: 150. °C, 1000. W/m².°C  
F fond: 20. °C, 2. W/m².°C

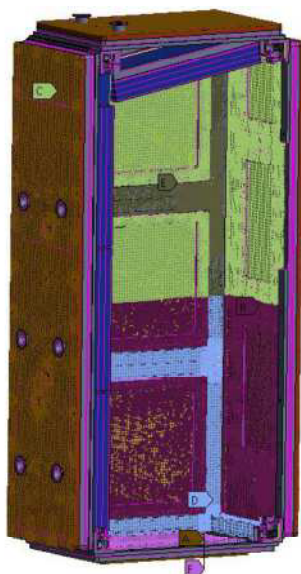


Figure 16 : Chargements thermiques pour le modèle 7 (1/3)

B refroidisseur haut: 2: 20. °C  
C refroidisseur Bas: 20. °C

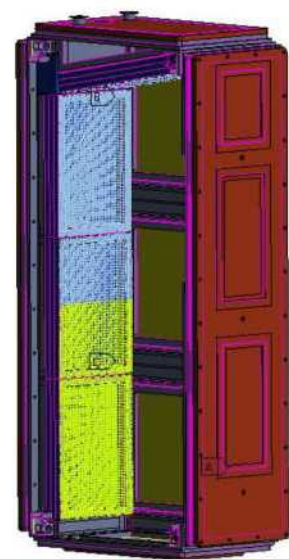


Figure 17 : Chargements thermiques pour le modèle 7 (2/3)

■ Verre: 150. °C

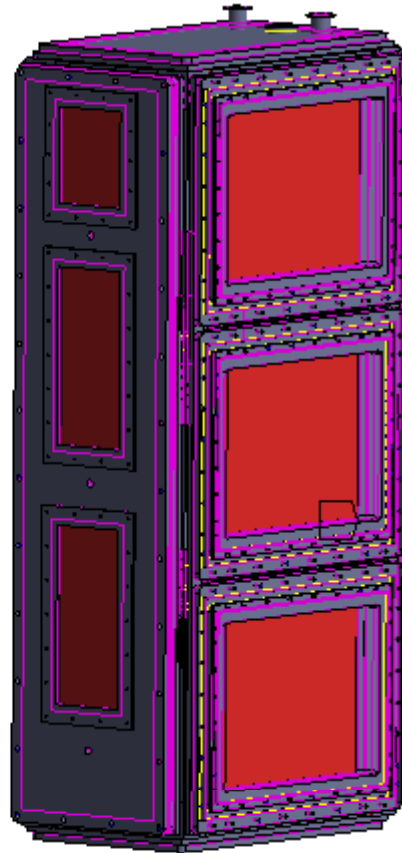



Figure 18 : Chargements thermiques pour le modèle 7, verres (3/3)

Zone	Modèle 7
Extérieur	Convection 20°C, 20 W/m².°C
Intérieur bas	Convection 150°C, 1000 W/m².°C
Intérieur haut	Convection 150°C, 1000 W/m².°C
Intérieur bas poutre	Convection 150°C, 1000 W/m².°C
Intérieur haut poutre	Convection 150°C, 1000 W/m².°C
Fond	Convection 20°C, 2 W/m².°C
Refroidisseur haut	Température imposée 20°C
Refroidisseur bas	Température imposée 20°C
Verre	Température imposée sur les 6 verres du haut, 150°C

Tableau 19 : Conditions d'études modèle 7

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>  <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 27 / 88

## 7 ETUDE MECANIQUE

### 7.1 MODELISATION

#### 7.1.1 Modèle global

En l'absence de plan de symétrie, la totalité de la structure est modélisée. Cependant, uniquement la partie en acier est modélisée. Les parties en « DELTHERM » et en « Calorifuge » ne sont pas modélisées.

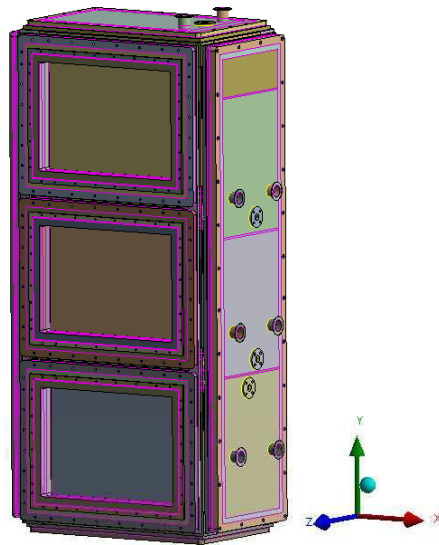


Figure 19 : Modélisation de la moitié de la structure

### 7.2 CONDITIONS AUX LIMITES

#### 7.2.1 Modèle global

Les conditions aux limites appliquées sur le modèle thermomécanique sont les suivantes :

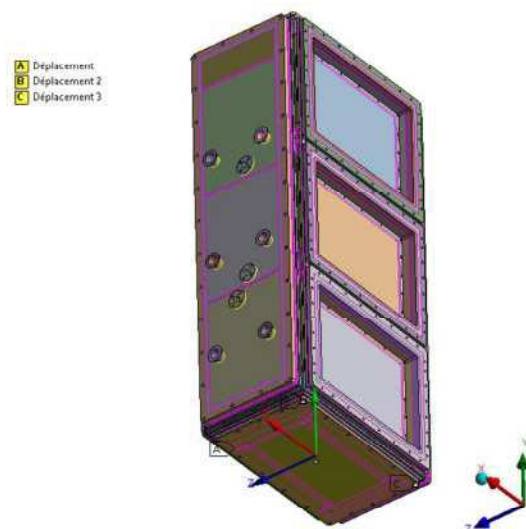



Figure 20 : Conditions aux limites



	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 28 / 88

La face inférieure du modèle est bloquée en Y car liée avec un châssis. La dilatation du bas de la structure est supposée identique à celle du châssis. Dans le cas pression, le jeu au niveau des boulons est supposé suffisant pour reprendre le déplacement de la structure sans rajouter d'effort dessus.

De ce fait, deux points de la structure sont bloqués de manière à avoir un modèle isostatique.

### 7.2.1 Modèle local : zone 2

Uniquement la zone 2 est étudiée mécaniquement. L'étude de cette zone montre la nécessité de faire une étude thermomécanique transitoire dans le §8.1.2. Les conditions aux limites sont les suivantes :

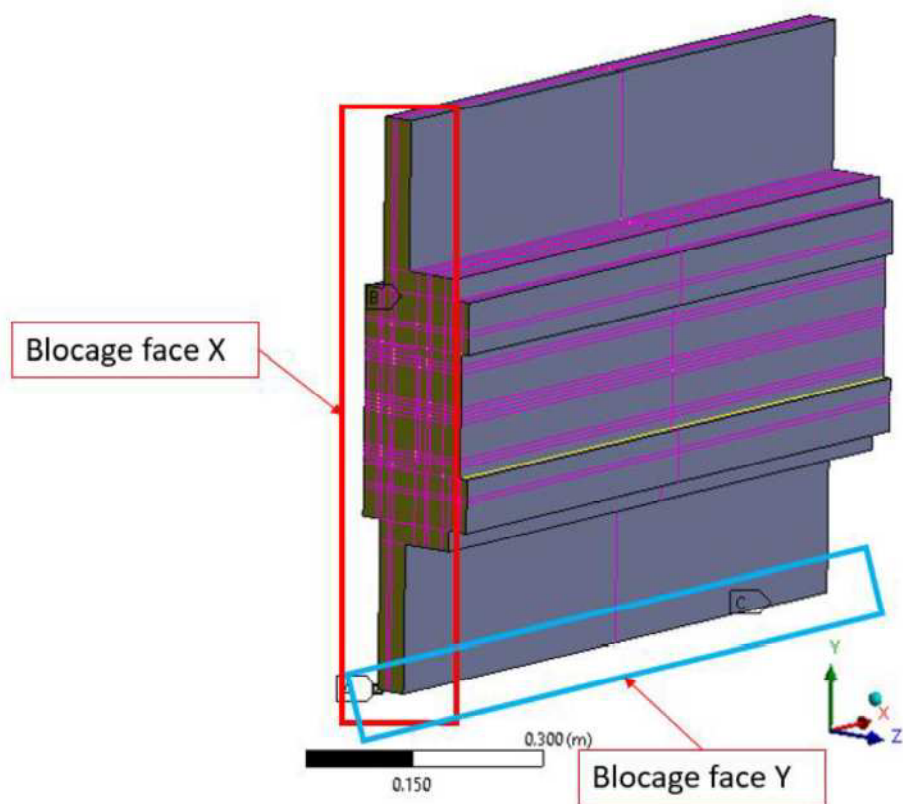


Figure 21 : Conditions aux limites mécaniques

De plus, un point a été bloqué en Z.



### 7.3 SITUATION DE CALCUL

Les cas de charges pris en compte dans le calcul Thermomécanique sont :

- Poids propre ;
- Dilatations thermiques différentielles ;
- Pression de calcul ;
- Températures de calcul (gaz, vapeur et eau) ;
- Efforts extérieurs sur les piquages pondérés (calculés sur la base du DEP 31.22.20.31-GEN [2]) ;
- Pression d'assise.

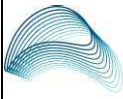
Sollicitation	Pression absolue (Bar)	Températures (°C)	Niveau d'eau (cm)	Température de l'eau
1er calcul – Cas Poids propre + efforts extérieurs	0	S.O	10(*)	T=20°C
2eme calcul – Cas Poids propre + Pression + efforts extérieurs	0.150 bar	S.O	10(*)	T=20°C
Cas 6 : 3ème calcul Mélange stratifié, avec parois refroidies désactivées, hublots chauffants	0.150 bar	Température définie en calcul thermodynamique	10(*)	T=20°C
Cas 7 : 4ème calcul – Mélange homogène, avec parois refroidies activées, hublots chauffants	0.150 bar	Température définie en calcul thermodynamique	10(*)	T=20°C

Tableau 20 : Cas de charges

(\*) Jugé négligeable

Ne sont pas compris dans la présente étude :

- Justification de la tenue au séisme de l'enceinte,
- Justification de la tenue mécanique de la paroi refroidie, du DELTHERM et de la mousse en silicone,
- La prise en compte du fluage car la température de fonctionnement est inférieure à 400°C,
- La justification des éléments du commerce, brides comprises.

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 30 / 88

Les efforts issus de la [4] sont trop important pour valider les piquages. Les efforts maximaux admissibles aux piquages, déterminés par le calcul, sont de :

F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)	M <sub>x</sub> (N.m)	M <sub>y</sub> (N.m)	M <sub>z</sub> (N.m)
120	120	120	35	35	35

Tableau 21 : efforts admissibles

Une analyse plus détaillée pourrait potentiellement augmenter ces efforts si nécessaire.

## 7.4 CRITERES POUR CHAQUES SITUATIONS DE CALCULS

Les critères pour chaque combinaison sont donnés ci-après :

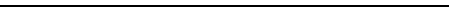
Chargement	Type de vérification	Critères de vérifications dans l'ensemble de la structure	Critères de vérifications au voisinage des raidisseurs	Critères de vérifications au voisinage des tubulures
Poids propre + efforts extérieurs sur les piquages	Contrainte de membrane	$f$	$f$	$1.5 f$
	Contrainte de membrane + flexion	$1.5 f$	$1.5 f$	$1.5 f$
Poids propre + pression + efforts extérieurs sur les piquages	Contrainte de membrane	$f$	$f$	$1.5 f$
	Contrainte de membrane + flexion	$1.5 f$	$3 f$	$3 f$
Poids propre + pression + efforts extérieurs sur les piquages + température	Contrainte résultante	$3 f$		
Pression d'assise	Contrainte de membrane	$f$	$f$	$1.5 f$
	Contrainte de membrane + flexion	$1.5 f$	$1.5 f$	$1.5 f$

Tableau 22 : Critères de vérifications en fonction de la zone étudiée et des chargements

## 7.5 PRESSION D'ASSISE

la pression d'assise n'est pas directement pris ne compte dans le modèle. En effet il s'agit d'un chargement à part et traduit l'effort nécessaire pour déformer le joint afin d'avoir un contact satisfaisant.

Ainsi, l'effort de pression d'assise ne reste pas dans le modèle, seul le serrage. Cette pression est donc locale pour chaque vis et un calcul analytique de l'effort est présente §8.3.2

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 31 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

## 7.6 CALCULS DE COUPLE DE SERRAGE BOULON PORTE ET TOIT

D'après le paragraphe C6.1.6 du CODAP 2022 [5], pour vérifier la boulonnerie, il est nécessaire de réaliser deux calculs : Un calcul en service et un calcul en pression d'assise.

Afin de déterminer la force minimale que doit exercer la boulonnerie en situation d'assise d'appliquer les calculs présentés en §8.3.2.

Afin de déterminer la force minimale que doit exercer la boulonnerie en situation normale de service, il a été décidé de modéliser une pression permettant de vérifier les équations ci-dessous sur les joints.

La détermination du couple de serrage doit satisfaire l'effort maximale entre toutes les situations :

- La pression d'assise d'un part dont le calcul est présente §
- Les situations de services dont le calcul est présenté ci-dessous.

Pour les situations de services les vis doivent permettre de résister à l'effort ci-dessous.

Dans le cas d'une bride le code [5] définit la force de traction s'exerçant sur la boulonnerie dans la situation sous pression est donnée par la formule :

$$W_p = \frac{\pi}{4} \times G^2 \times P + H_G$$

Pour le cas du joint rectangulaire,  $H_G$  est défini par :

$$H_G = 2 \times S_{joint} \times m \times P$$

Avec

$m$  : Coefficient de serrage (ici égale à 1)

$G$  : Diamètre de réaction de joint

$P$  : Pression de calcul

Cette formule est valable pour une bride et sera adapté pour les portes rectangulaires du modèle.

En effet, contrairement à une bride, la répartition de l'effort ne se fait pas uniformément entre les vis.

Deux sollicitations sont présentes :

- La pressions dus interne sur la surface de la porte
- La pression du joint

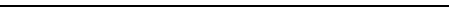
Ces efforts sont directement intégrés dans le modèle (pression de service de 0.015 MPa sur la surface interne de la porte et pression de service de 0.03 MPa sur la surface du joint)

Le couple de serrage minimal à appliquer sur la boulonnerie est obtenu en considérant l'effort enveloppe sur toutes les boulonneries serrant le joint.

La relation entre le couple appliqué et l'effort associé est donné par la relation C6.A6.1.3b5-1 du CODAP 2022 [5] :

$$C = \left[ \frac{p}{2\pi} + \frac{\mu_t \times d_t}{2 \cos \alpha} + \frac{\mu_n \times d_n}{2} \right] \times \frac{F_{min}}{(1 - b)}$$

Avec :

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 32 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

$p$  : Pas du filetage (mm)

$\mu_t$  : Coefficient de frottement sur les filets (0.18 issue de la NF E 25-030-2 [11])

$\mu_n$  : Coefficient de frottement sous écrou ou sous tête (0.18)

$d_t$  : Diamètre à flanc de filet (mm)

$d_n$  : Diamètre moyen d'appui sous écrou ou sous tête (mm)

$F$  : Effort minimal de pré-serrage (N)

$b$  : Précision sur le serrage (Hypothèse : 10%)

$\alpha$  : demi angle de filetage

La force maximale à appliquer sur le dimensionnement de la vis est défini par la relation :

$$F_{max} = \frac{C \times (1 + b)}{\left[ \frac{p}{2\pi} + \frac{\mu_t \times d_t}{2 \cos \alpha} + \frac{\mu_n \times d_n}{2} \right]}$$

Avec :

$\mu_t$  : Coefficient de frottement sur les filets (0.12)

$\mu_n$  : Coefficient de frottement sous écrou ou sous tête (0.12)


Le moment de torsion à prendre en considération est déterminé par la relation C6.A6.1.3b5-2 du CODAP 2022 [5] :

$$C_{Torsion} = F_{max} \times (0.16 \times p + 0.557 \times \mu_t \times d_2)$$

Avec :

$d_2$  : Diamètre moyen à flanc de filet (mm)

$\mu_t$  : Coefficient de frottement sur les filets (0.12). Ce coefficient est pris égal à 0.12 car l'effort maximal est calculé avec le frottement minimale.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 33 / 88

## 8 RESULTATS

### 8.1 RESULTATS THERMODYNAMIQUES SUR MODELES LOCAUX

#### 8.1.1 Résultats thermodynamiques zone 1

Le calcul thermodynamique de la zone 1 a pour double objectifs de :

- Déterminer la nécessité de modéliser l'air dans les coins
- Déterminer la nécessité de modéliser le calorifuge à l'extérieur de la structure

L'étude de la nécessité de modéliser l'air se fait en deux temps :

Dans un premier temps, l'étude du flux de chaleur dans la structure est menée :

Flux de chaleur total  
Type: Flux de chaleur total  
Unité:  $W/m^2$   
Temps: 3315.1  
Max: 31128  
Min: 3.3461e-5

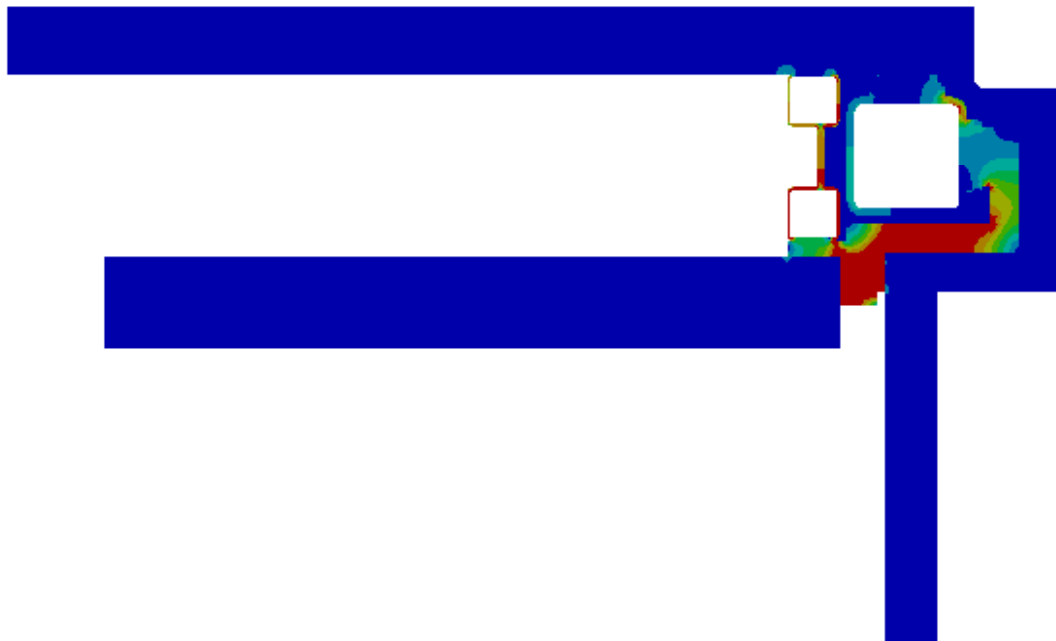
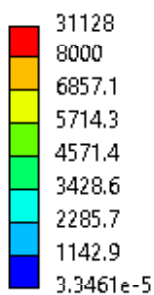


Figure 22 : Flux de chaleur dans la zone 1

Le flux de chaleur présenté dans la Figure 22 montre que l'air n'a que très peu d'influence sur la diffusion de la chaleur. En effet, cela s'explique par le fait que le coefficient de conduction thermique de l'acier est très supérieur à celui assimilé pour de l'air défini en §5.1 et en §6.2.

Dans un second temps, les températures en certains point spécifique de la zone 1 ont été étudiés dans les cas où l'air été modélisé et dans le cas où il ne l'est pas.

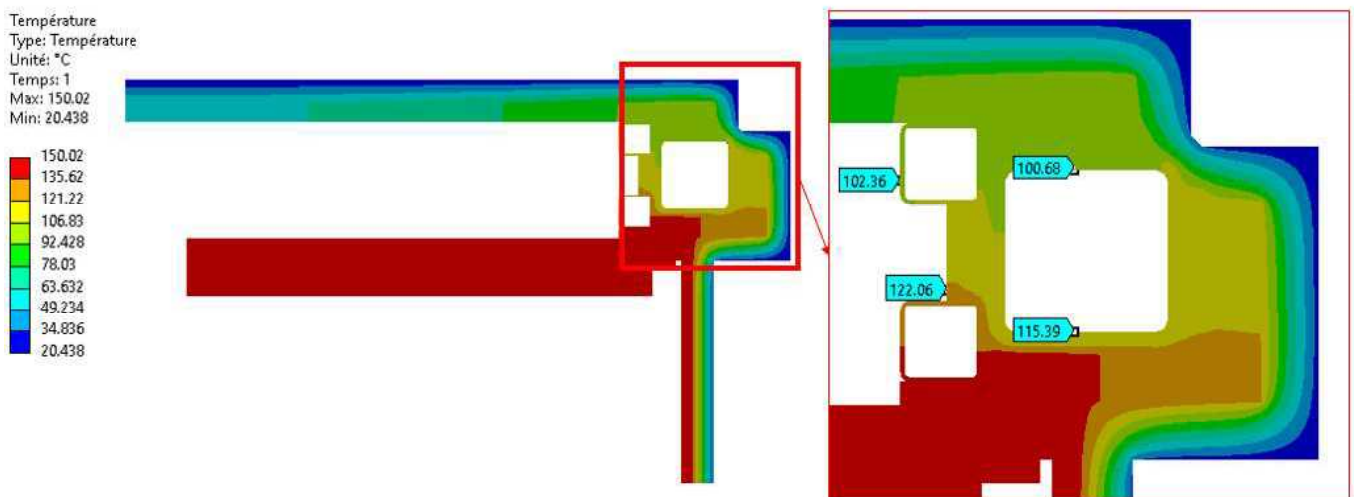


Figure 23 : Etude de la température dans la zone 1 **avec** modélisation de l'air



Figure 24 : Etude de la température dans la zone 1 **sans** modélisation de l'air

La température aux différents points observés montre une variation minimale de la température en ces points. L'étude du flux de température ainsi que des points post-traités permettent de conclure que la prise en compte de l'air dans les coins n'est pas nécessaire.





### 8.1.2 Résultats thermodynamiques zone 2

Le calcul thermodynamique de la zone 1 a pour double objectifs de :

- Déterminer la nécessité de modéliser l'air dans le tube
- Déterminer la nécessité de faire un calcul thermomécanique transitoire sur la structure globale.

L'étude de la nécessité de modéliser l'air dans le tube se fait en deux temps :

Dans un premier temps, l'étude du flux de chaleur dans la structure est menée :

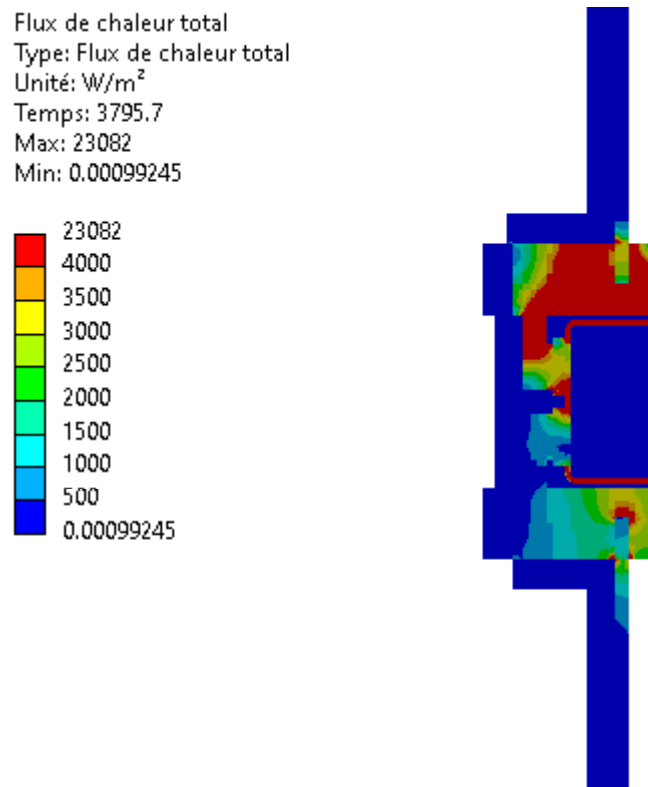



Figure 27 : Flux de chaleur dans la zone 2

Le flux de chaleur présenté dans la Figure 22 montre que l'air n'a que très peu d'influence sur la diffusion de la chaleur. En effet, cela s'explique par le fait que le coefficient de conduction thermique de l'acier est très supérieur à celui assimilé pour de l'air défini en §5.1 et en §6.2.

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>  <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
	Indice : 00		Page : 37 / 88

Dans un second temps, l'évolution de la température dans la structure au cours du temps est observée.

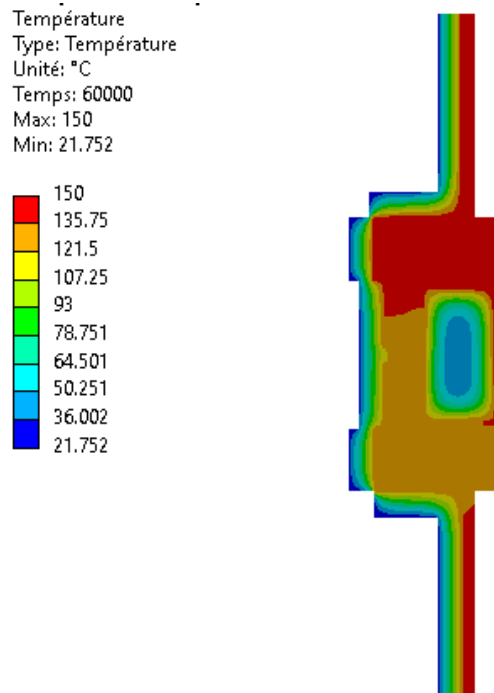


Figure 28 : Température dans la zone 2 après 60 000 s

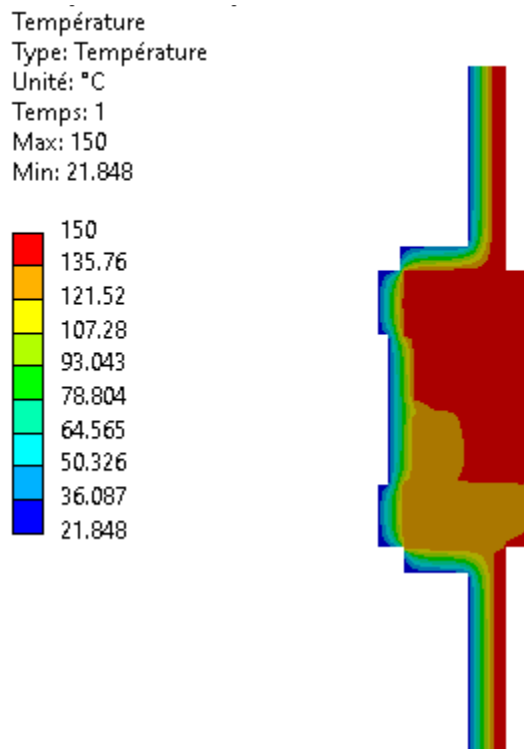


Figure 29 : Température dans la zone 2 à l'équilibre

L'évolution de la température au cours du temps met en évidence que la modélisation de l'air dans les tubes n'est pas nécessaire. L'air ne sera donc pas modélisé dans le modèle global. En effet vus les épaisseurs et le temps de chauffe le verre à l'intérieure des tubes peut être assimilé à une paroi adiabatique. Elle n'est donc pas modélisée.

### 8.1.3 Résultats thermomécaniques zone 2

Afin de connaître la nécessité de faire une étude thermomécanique transitoire dans le modèle global, alors le comportement d'une partie de la structure est analysé.

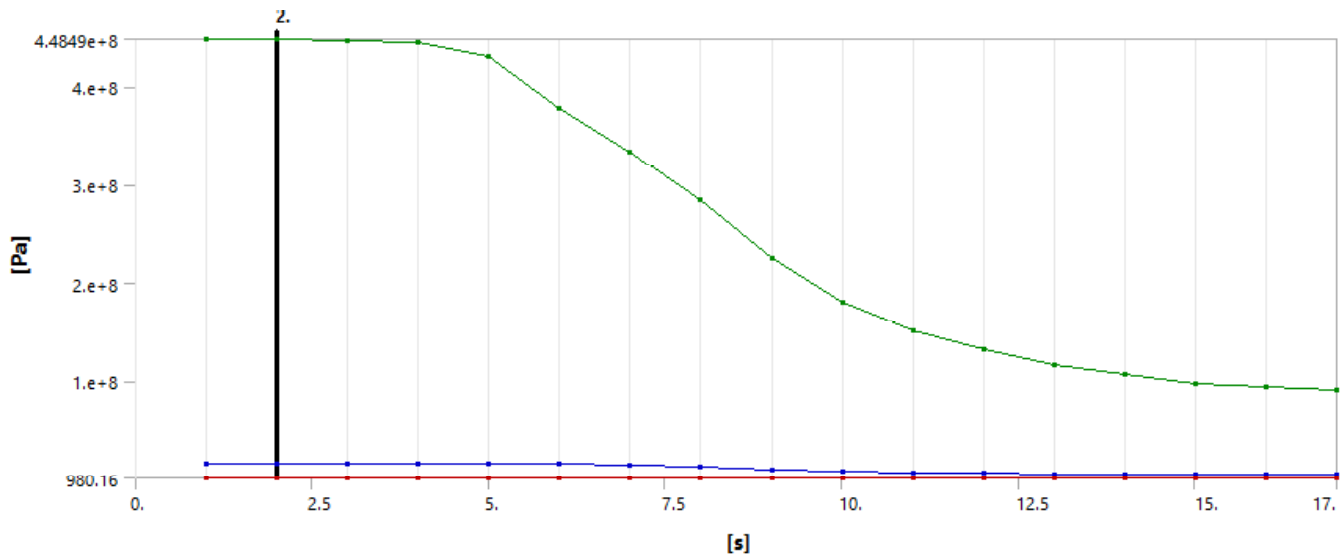


Figure 30 : Evolution de la contrainte au cours du temps

Intensité de contrainte  
Type: Intensité de contrainte  
Unité: Pa  
Temp: 2  
Max: 4,4849e8  
Min: 980.16

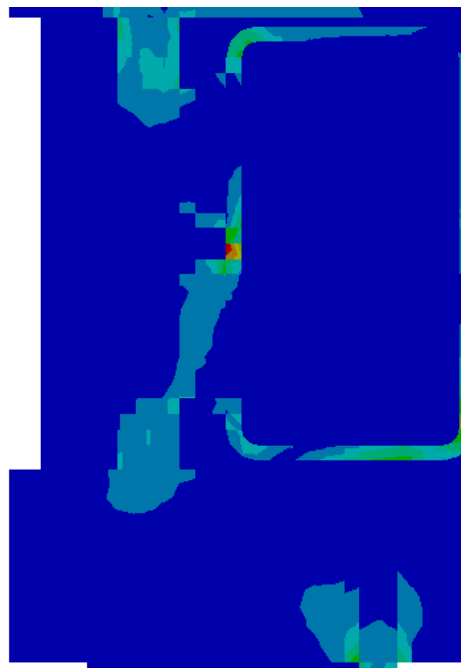
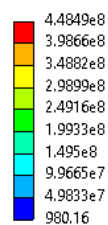
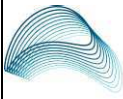


Figure 31 : Contrainte de Tresca au pas de temps numéro 2

La contrainte de Tresca dans la structure n'est pas maximale en régime stationnaire (cf. Figure 30). L'étude mécanique transitoire de la structure globale va devoir être menée.

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 39 / 88

## 8.2 MODELE GLOBAL

### 8.2.1 Cas de charge PP + Efforts extérieurs

#### 8.2.1.1 Contraintes

Le cas étudié correspond au cas de chargement PP + effort extérieur. Conformément au tableau §5.4, les contraintes admissibles sont :

Chargement	Type de vérification	Critères de vérifications dans l'ensemble de la structure	Critères de vérifications au voisinage des raidisseurs	Critères de vérifications au voisinage des tubulures
Poids propre + efforts extérieurs sur les piquages	Contrainte de membrane	$f$	$f$	$1.5 f$
	Contrainte de membrane + flexion	$1.5 f$	$1.5 f$	$1.5 f$

Tableau 23 : Contrainte admissible dans le cas PP + effort extérieur

Pour rappel,  $f$  est la contrainte admissible à température, ici  $f = 173$  MPa.

Zones	Contrainte de Tresca (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de sollicitation (%)
Châssis poutre	341/ 97 (*)	173	57
Paroi refroidie sur porte	120		70
Paroi refroidie sur couvercle	120		70
Porte injection	3(*)		2
Module vitrage	48		28
Ensemble récupération d'eau	108		63
Module instrumenté	68		40
Vitre	7		/
Pieces forgées	95		55

(\*) Contrainte locale dû à la liaison vis / structure, voir justification ci-après. La notation est la suivante (« Contrainte de Tresca avec liaison vis et structure » / « Contrainte de Tresca sans liaison vis et structure »)

Tableau 24 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur pour les éléments volumiques

Zones	Contrainte de Tresca en membrane (MPa)	Contrainte de Tresca en membrane+flexion (MPa)	Contrainte admissible en membrane (MPa)	Contrainte admissible en membrane + flexion (MPa)	Taux de sollicitation(%)
Couvercle	47	48	173	259	35
Paroi refroidie	2	3			2
Châssis	125	175			73

Tableau 25 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur pour les éléments volumiques

L'ensemble des contraintes sont validées dans le cas PP + efforts extérieurs.

- Les contraintes dans le module « châssis poutre » sont présentées ci-dessous :

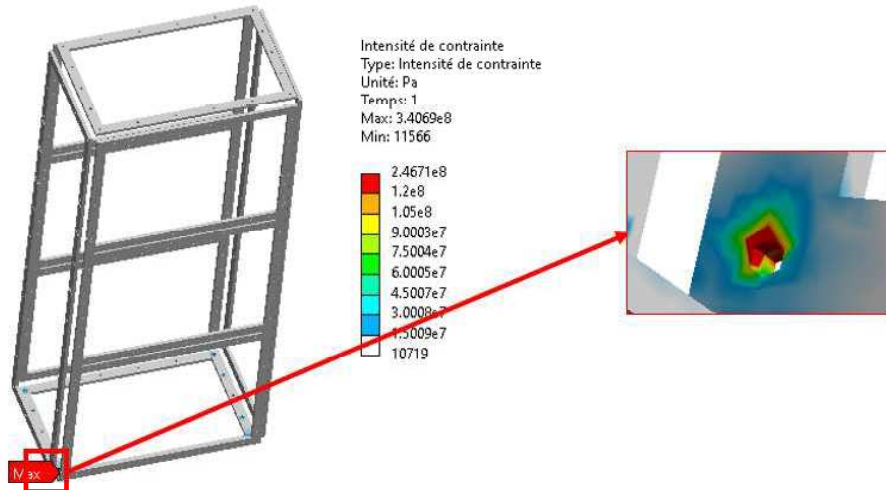


Figure 32 : Contrainte châssis poutre complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le châssis qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / châssis. La liaison châssis / vis est étudiée analytiquement.

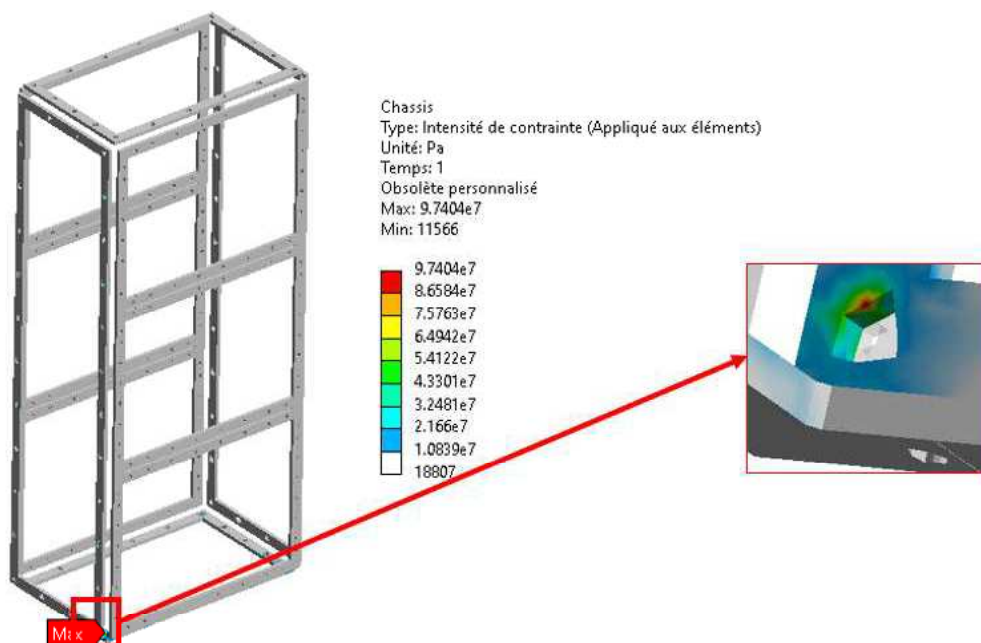
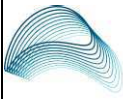


Figure 33 : Contrainte châssis poutre sans vis

Dans les zones courantes, la partie châssis est donc validée.

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 41 / 88

## 8.2.2 Cas PP + Pression + efforts extérieurs

### 8.2.2.1 Contraintes

Le cas étudié correspond au cas de chargement PP+ Pression + effort extérieur. Conformément au tableau §5.4, la contrainte admissible est

Chargement	Type de vérification	Critères de vérifications dans l'ensemble de la structure	Critères de vérifications au voisinage des raidisseurs	Critères de vérifications au voisinage des tubulures
Poids propre + pression + efforts extérieurs sur les piquages	Contrainte de membrane	$f$	$f$	$1.5 f$
	Contrainte de membrane + flexion	$1.5 f$	$3 f$	$3 f$

Tableau 26 : Contrainte admissible dans le cas PP + Pression + efforts extérieurs

Pour rappel,  $f$  est la contrainte admissible à température, ici  $f = 173$  MPa.

Zones	Contrainte de Tresca (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de sollicitation (%)
Châssis poutre	768/115(*)	173	66
Paroi refroidie sur porte	121		70
Paroi refroidie sur couvercle	120		70
Porte injection	84		49
Module vitrage	52		31
Ensemble récupération d'eau	73		43
Module instrumenté	58		34
Pieces forgées	60		35
Vitre	17	/	/

Tableau 27 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur pour les éléments volumiques

(\*) Contrainte locale dû à la liaison vis / structure, voir justification ci-après. La notation est la suivante (« Contrainte de Tresca avec liaison vis et structure » / « Contrainte de Tresca sans liaison vis et structure »)

Zones	Contrainte de Tresca en membrane (MPa)	Contrainte de Tresca en membrane+flexion (MPa)	Contrainte admissible en membrane (MPa)	Contrainte admissible en membrane + flexion (MPa)	Taux de sollicitation (%)
Couvercle	60	63	173	259	35
Paroi refroidie	4	6			3
Châssis	55	57			73

Tableau 28 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur pour les éléments volumiques

L'ensemble des contraintes sont validées dans le cas PP + Pression + efforts extérieurs.

- Les contraintes dans le module « châssis poutre » sont présentées ci-dessous :

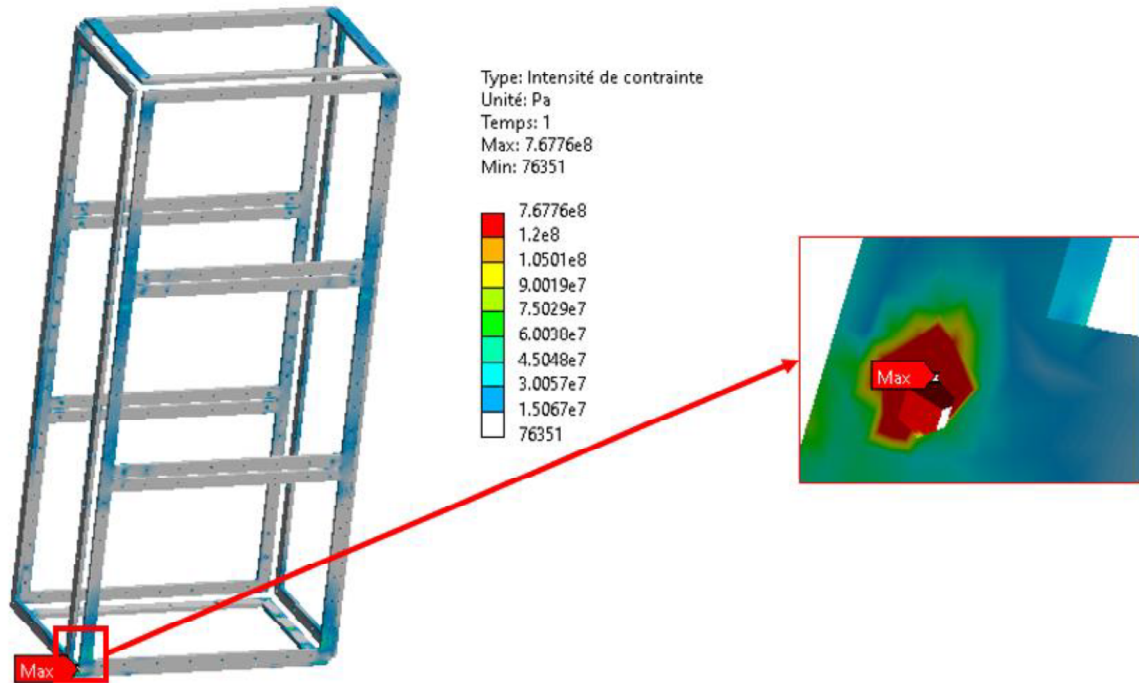


Figure 34 :Contrainte châssis poutre complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le châssis qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / châssis. La liaison châssis / vis est étudiée analytiquement.

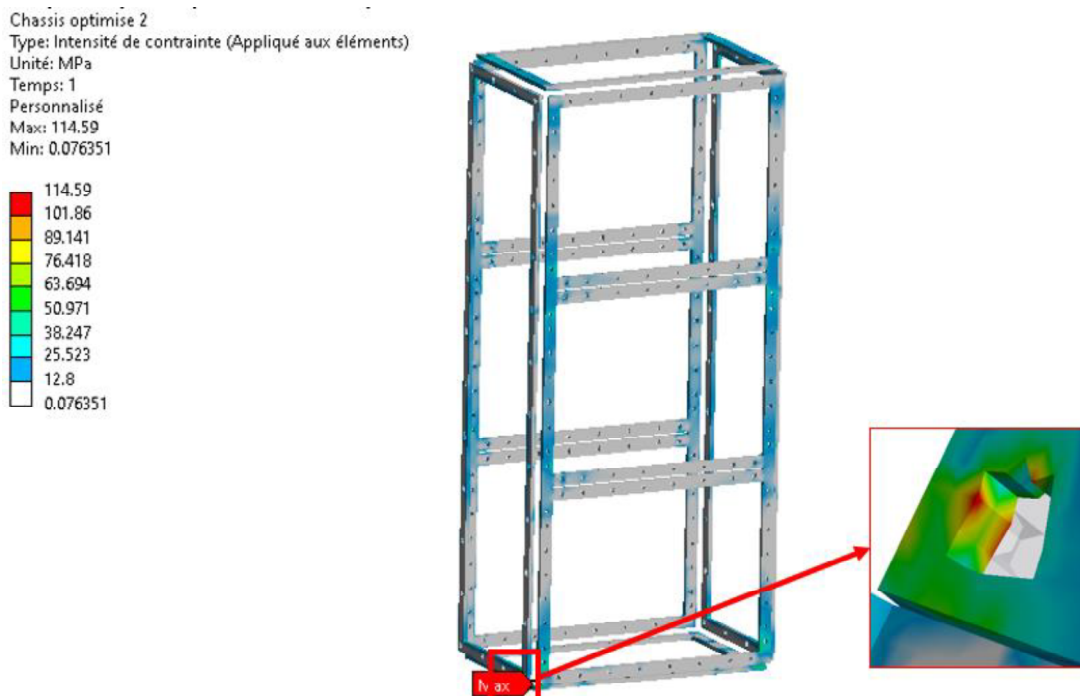



Figure 35 :Contrainte châssis sans contour vis

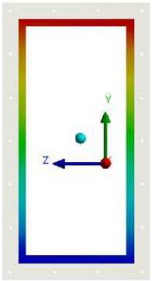
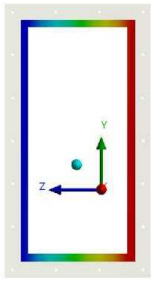
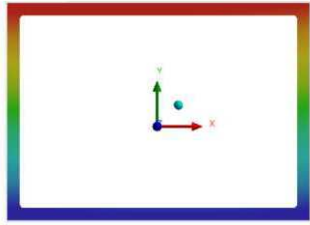
Dans les zones courantes, la partie châssis est donc validée.



	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 43 / 88

### 8.2.2.2 Déplacements

Les déplacements relatifs maximaux sur tous les joints dans le cas PP + Pression + Efforts extérieurs des joints sont donnés ci-dessous :

Dans le plan de la vitre (Z)	Dans le sens gravité (Y)	Orthogonalement au plan (Z)
<p>Déplacement vitre milieu Z 2 Type: Déplacement directionnel(Axe Z) Unité: mm Système de coordonnées global Temps: 1 Max: 0.71294 Min: 0.45852</p> 	<p>Déplacement vitre milieu Y 2 Type: Déplacement directionnel(Axe Y) Unité: mm Système de coordonnées global Temps: 1 Max: -0.44005 Min: -0.56356</p> 	<p>Déplacement vitre bas Z Type: Déplacement directionnel(Axe Z) Unité: mm Système de coordonnées global Temps: 1 Max: 1.2209 Min: 0.12812</p> 
Le déplacement relatif maximal est de 0.254 mm	Le déplacement relatif maximal est de 0.123 mm	Le déplacement relatif maximal est de 1.09 mm

## 8.2.3 Cas PP + Pression + efforts extérieurs + Thermique cas 6

### 8.2.3.1 Résultats thermodynamiques

Le modèle thermodynamique ci-dessous concerne le cas thermique présenté en §6.3.2.2.

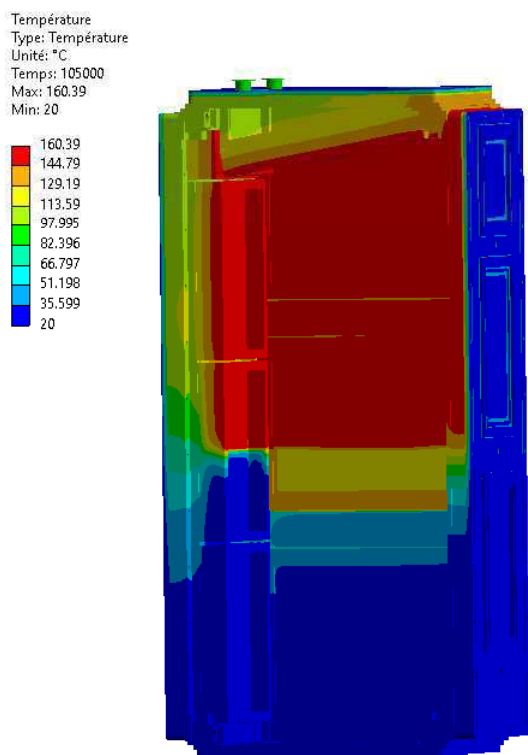


Figure 36 : Calcul thermique en régime stationnaire

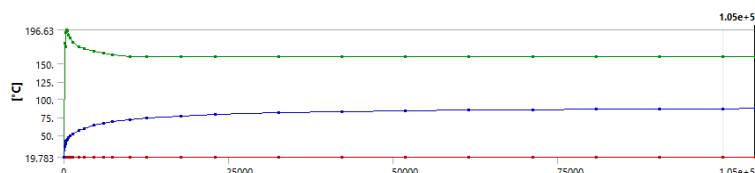


Figure 37 : Evolution de la température en fonction du temps

**Nota :** Sur la Figure 37, la courbe rouge représente la température minimale dans le système, la courbe bleue représente la température moyenne dans le système et la courbe verte correspond à la température maximale dans la structure. Il faut noter que le dépassement de température sur la courbe verte se situe au niveau d'un contact et n'est pas physique.

Il a été considéré que le régime permanent est établi lorsque 90% de la température établit en régime permanent est atteinte. Les points suivants de discrétisations ont été étudiés.

Zone	Température T=0se	Critère de 90 %	Temps (s)
Châssis	136.4	122.8	10566
Paroi Refroidie	112	100.8	54374
Couvercle	101.5	91.4	87187
Module Vitrage	125.5	113	26300
Module instrumenté	106.4	95.8	36864

Température  
 Type: Température  
 Unité: °C  
 Temps: 105000  
 Max: 160.39  
 Min: 20

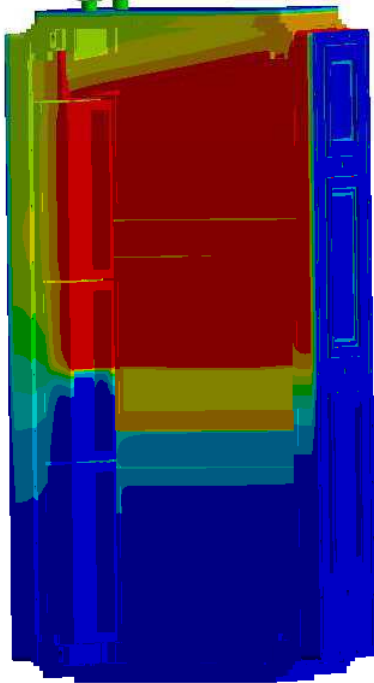
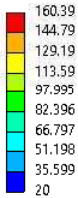


Figure 38 : Gradient de température en régime stationnaire

Température  
 Type: Température  
 Unité: °C  
 Temps: 87187  
 Max: 160.39  
 Min: 20

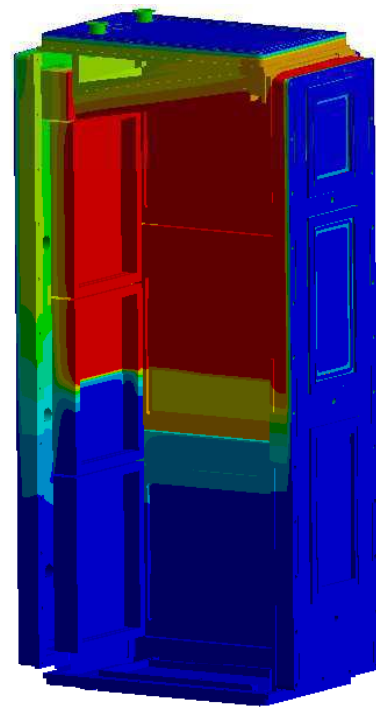
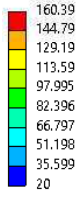


Figure 39 : Gradient de température après 87187 s

La durée maximale pour atteindre 90% de la température stabilisée sur les points post-traité est de 87 187 s.

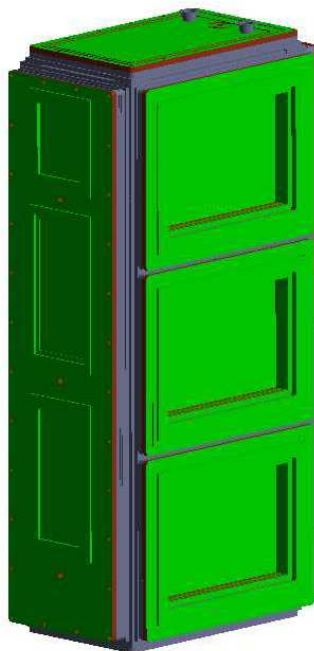



Figure 40 : Sonde de réaction de puissance

La Puissance en sortie système est de 1433W.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 46 / 88

### 8.2.3.2 Résultats thermomécaniques

Le cas étudié correspond au cas de chargement PP+ Pression + effort extérieur + température cas 6 (§6.3.2.2). Conformément au tableau §5.4, la contrainte admissible est de 3f. En première approche et de manière conservatrice, la contrainte admissible est prise à une température de 150 °C en tout point.

L'ensemble des contraintes par module sont présentées ci-dessous :

Zones	Contrainte de Tresca (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de sollicitation (%)
Châssis poutre	834/ 311(*)	360	87
Paroi refroidie sur porte	273		21
Paroi refroidie sur couvercle	551/228 (*)		64
Porte injection	1305/336 (*)		94
Ensemble récupération d'eau	73		21
Module instrumenté	808 /320 (**)		89
Pieces forgées	577/366 (***)		<b>102 (****)</b>
Vitre	173	/	/

Tableau 29 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur + Pression + Thermique cas 6 pour les éléments volumiques

(\*) Contrainte locale dû à la liaison vis / structure, voir justification ci-après. La notation est la suivante (« Contrainte de Tresca avec liaison vis et structure » / « Contrainte de Tresca sans liaison vis et structure »)

\*\*Contrainte linéarisée un élément à côté de la liaison vis / plaque instrumentée

\*\*\*Contrainte linéarisée

\*\*\*\*Optimisation préconisée. Il est préconisé de préchauffer le verre 10 minutes avant l'introduction de gaz. Cela permet de valider les pièces forgées avec un taux de sollicitation de 76%.

Zone	Contrainte de Tresca (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de sollicitation (%)
Module vitrage	454/423 (*)	(**)	87

Tableau 30 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur + Pression + Thermique cas 6 pour les éléments volumiques pour les modules vitrées

(\*) Contrainte locale dû à la liaison vis / structure, voir justification ci-après. La notation est la suivante (« Contrainte de Tresca avec liaison vis et structure » / « Contrainte de Tresca sans liaison vis et structure »)

(\*\*) La contrainte admissible est déterminée en fonction de la température avec une fonction ANSYS qui lit la température en chaque point et en chaque pas de temps et connaît donc la contrainte admissible.

zone	Contrainte de Tresca (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de sollicitation (%)
Couvercle	148	360	42
Paroi refroidie	117		33
Châssis	281		79

Tableau 31 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur pour les éléments volumiques

- Les contraintes dans le module « châssis poutre » sont présentées ci-dessous :

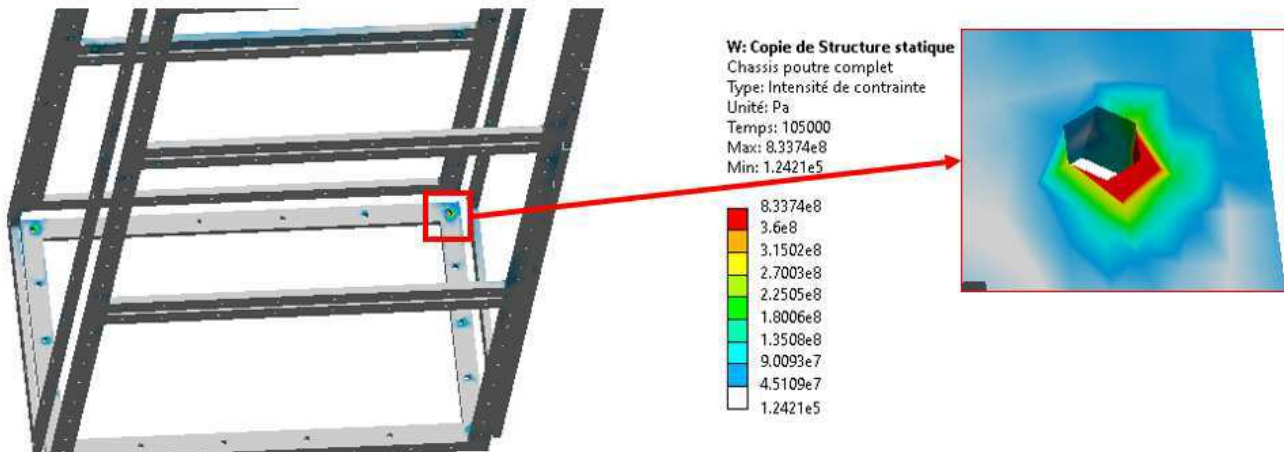


Figure 41 :Contrainte châssis poutre complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le châssis qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / châssis. La liaison châssis / vis est étudiée analytiquement.

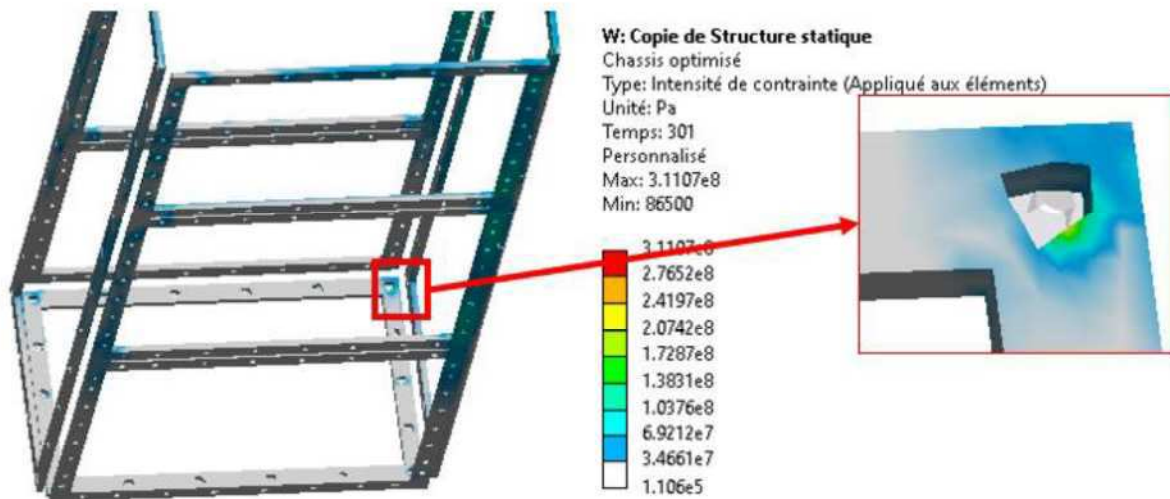


Figure 42 :Contrainte châssis poutre sans vis

Dans les zones courantes, la partie châssis est donc validée.

- Les contraintes dans le module « Paroi refroidit sur couvercle » sont présentés ci-dessous :

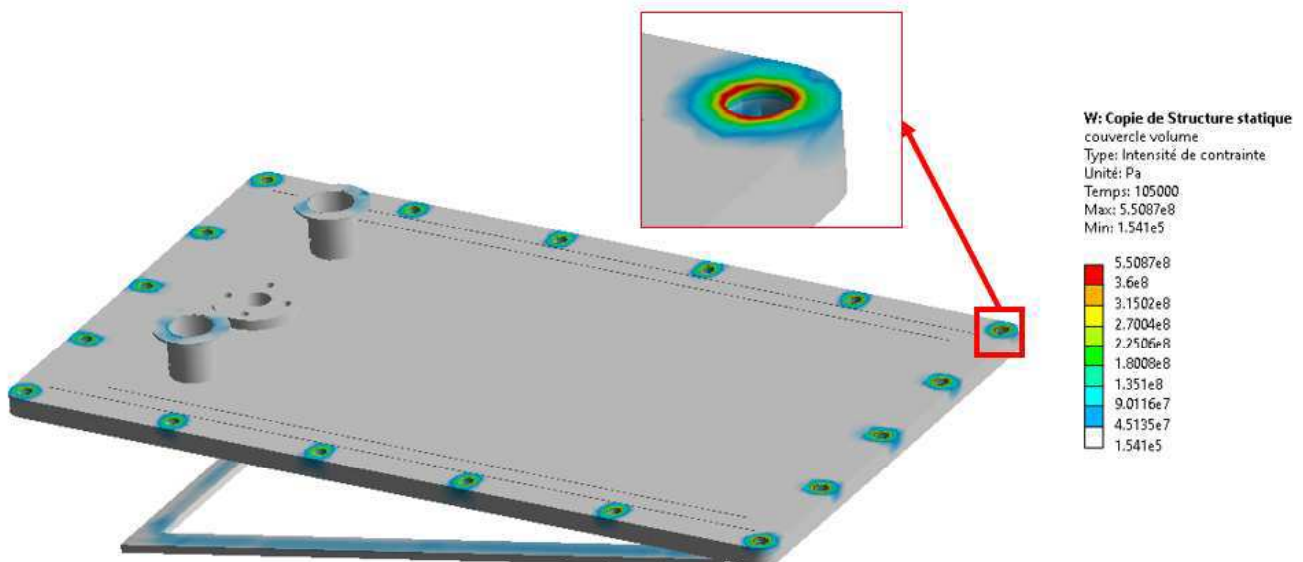


Figure 43 :Contrainte couvercle complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le couvercle qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / couvercle. La liaison couvercle / vis est étudiée analytiquement.

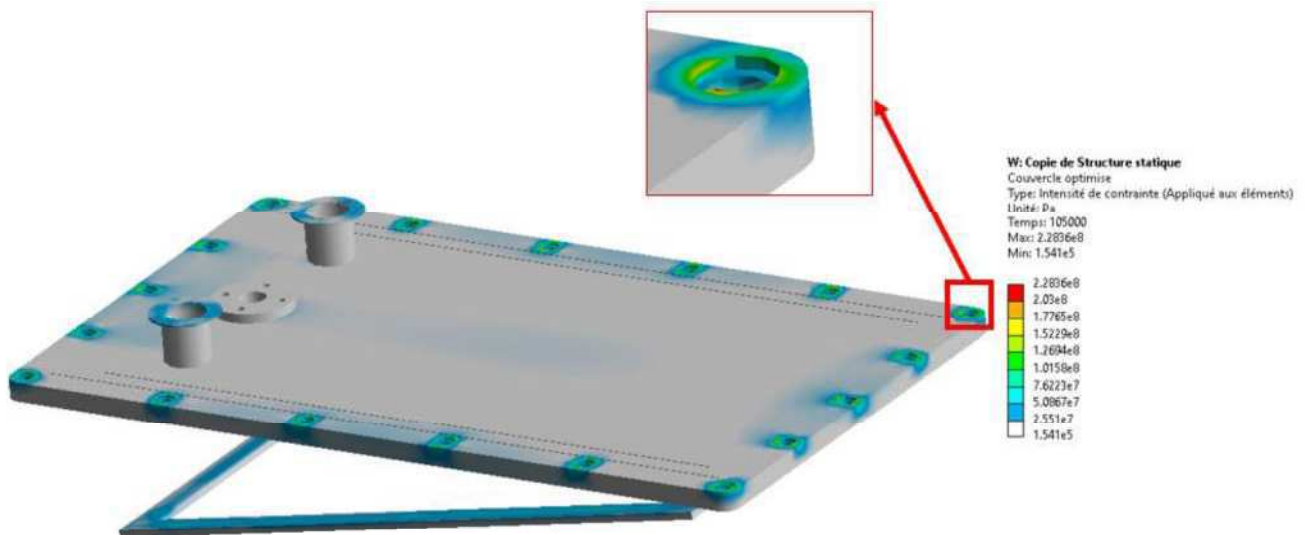


Figure 44 :Contrainte couvercle sans vis

Dans les zones courantes, le couvercle est donc validé.



- Les contraintes dans le module « Module instrumenté » sont présentées ci-dessous :

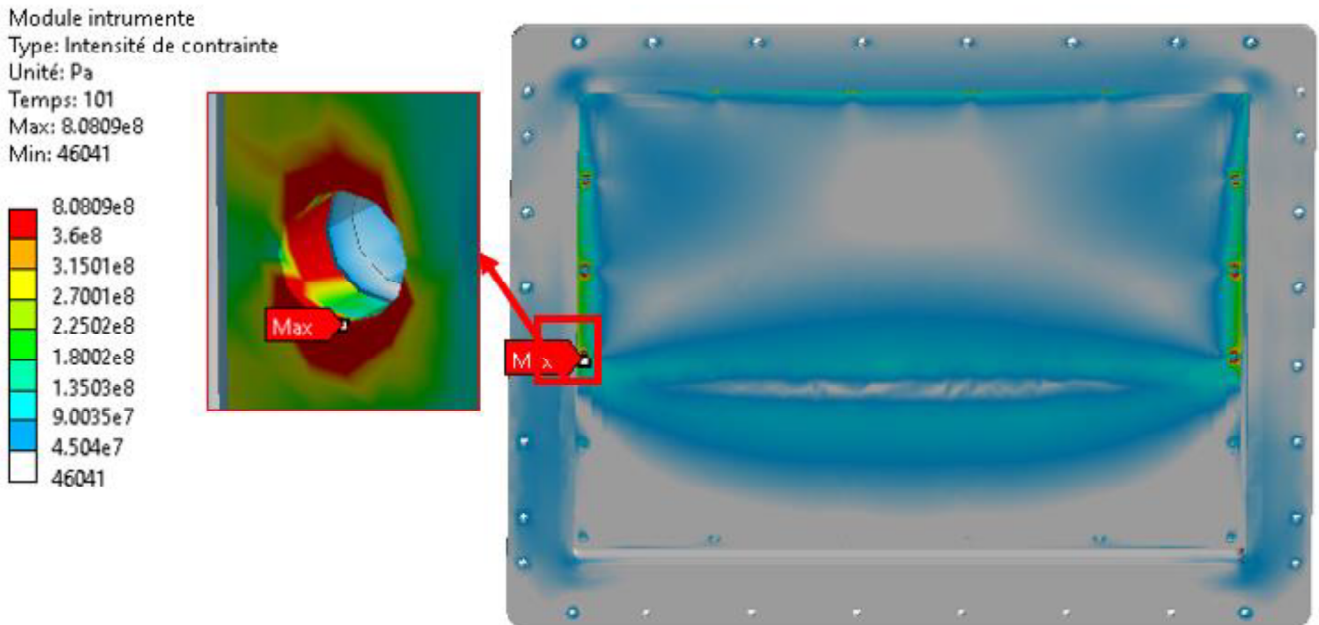


Figure 45 :Contrainte module instrumenté complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec la plaque en acier qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / plaque. La liaison plaque / vis est étudiée analytiquement.

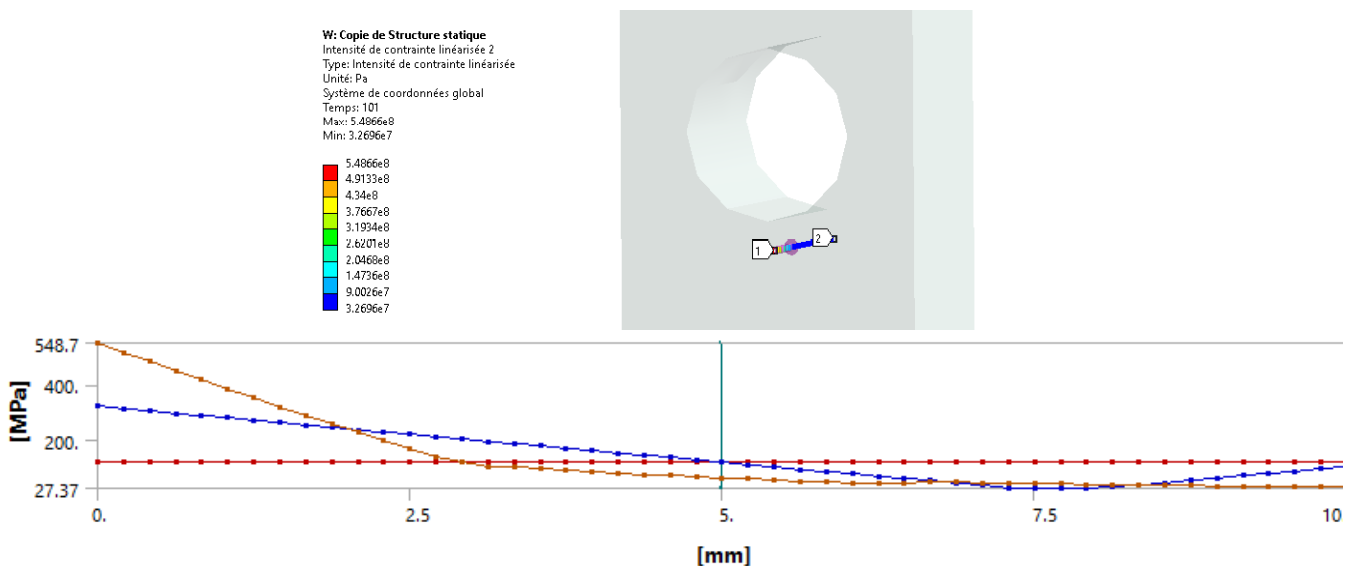



Figure 46 :Contrainte linéarisée à coté de la liaison vis / plaque

Dans les zones courantes, le module est donc validé.



	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
		Indice : 00	Page : 50 / 88

- Les contraintes dans le module « Porte injection» sont présentées ci-dessous :

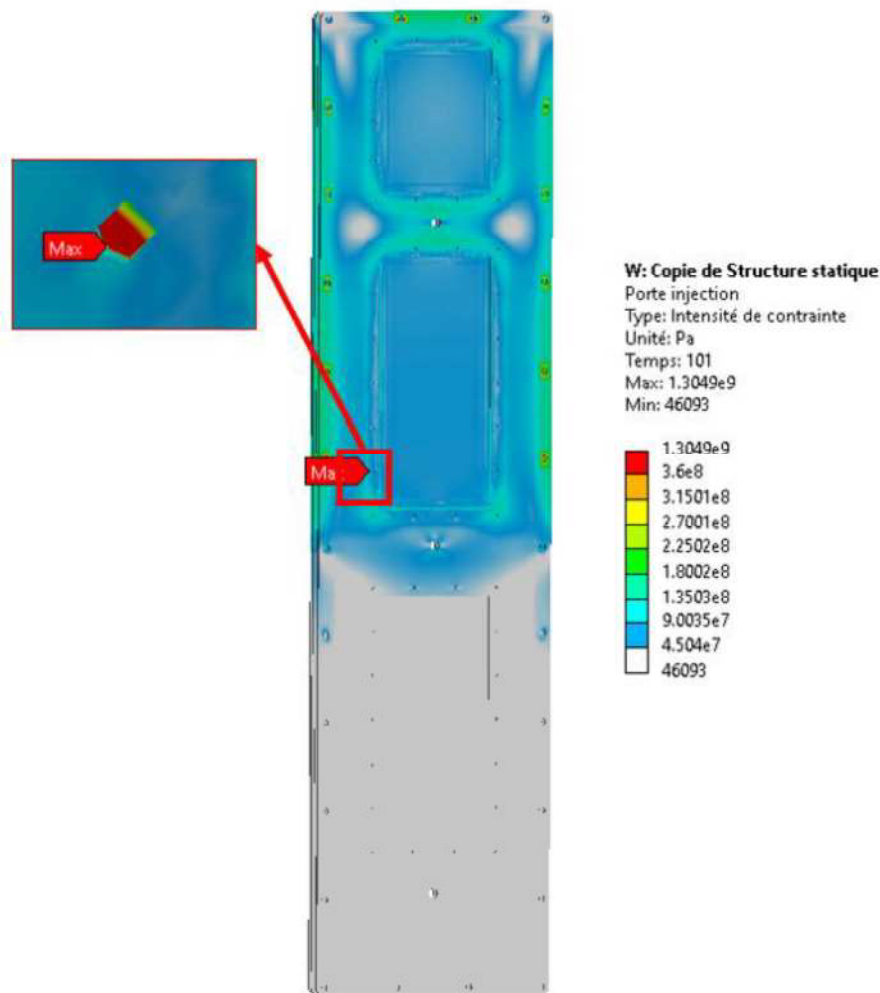


Figure 47 :Contrainte porte injection complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec la porte injection qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / porte injection. La liaison porte injection / vis est étudiée analytiquement.

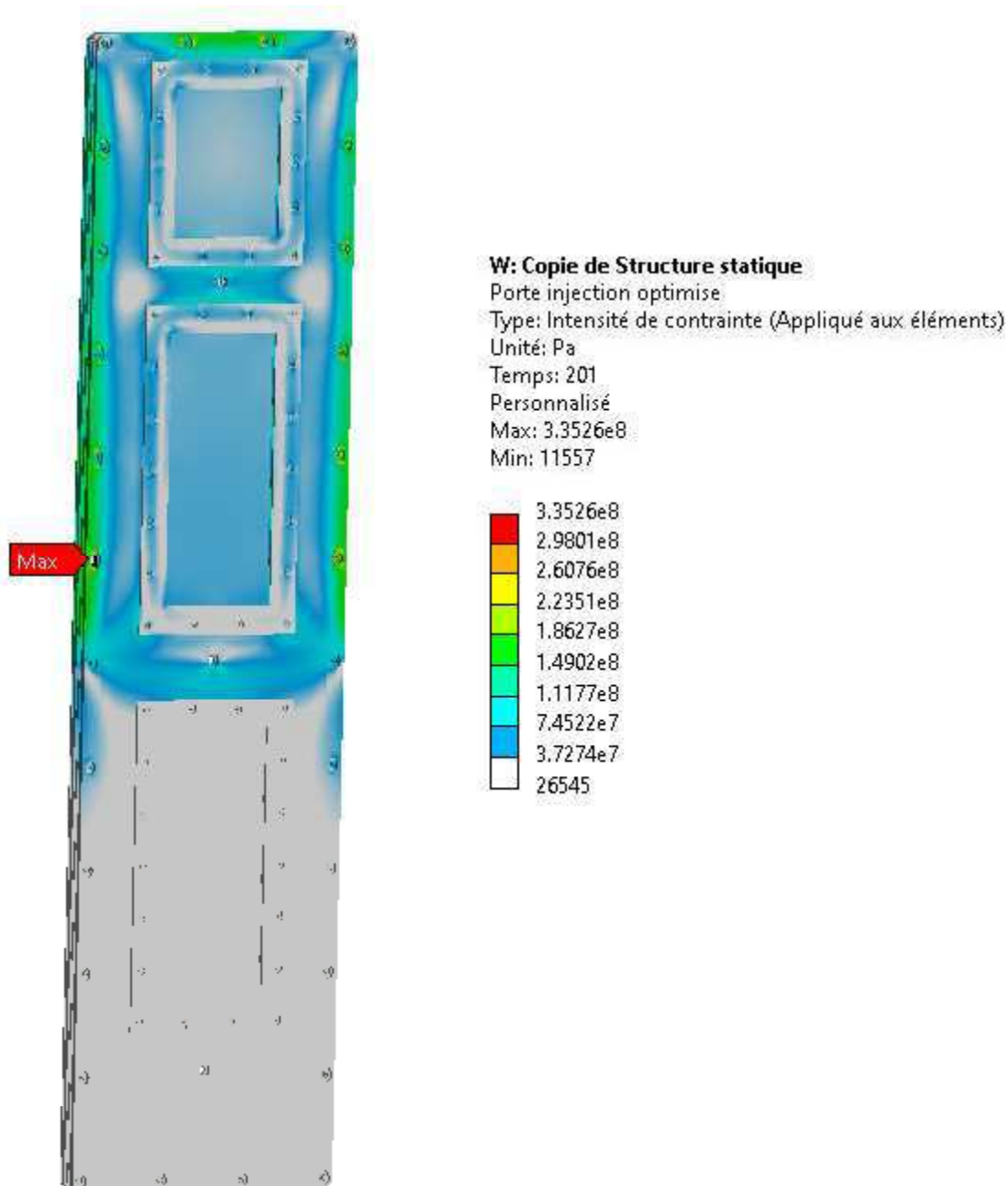
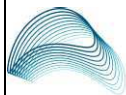


Figure 48 :Contrainte porte injection sans vis

Dans les zones courantes, la porte injection est donc validée.

- Les contraintes dans le module « module vitrage » sont présentées ci-dessous :

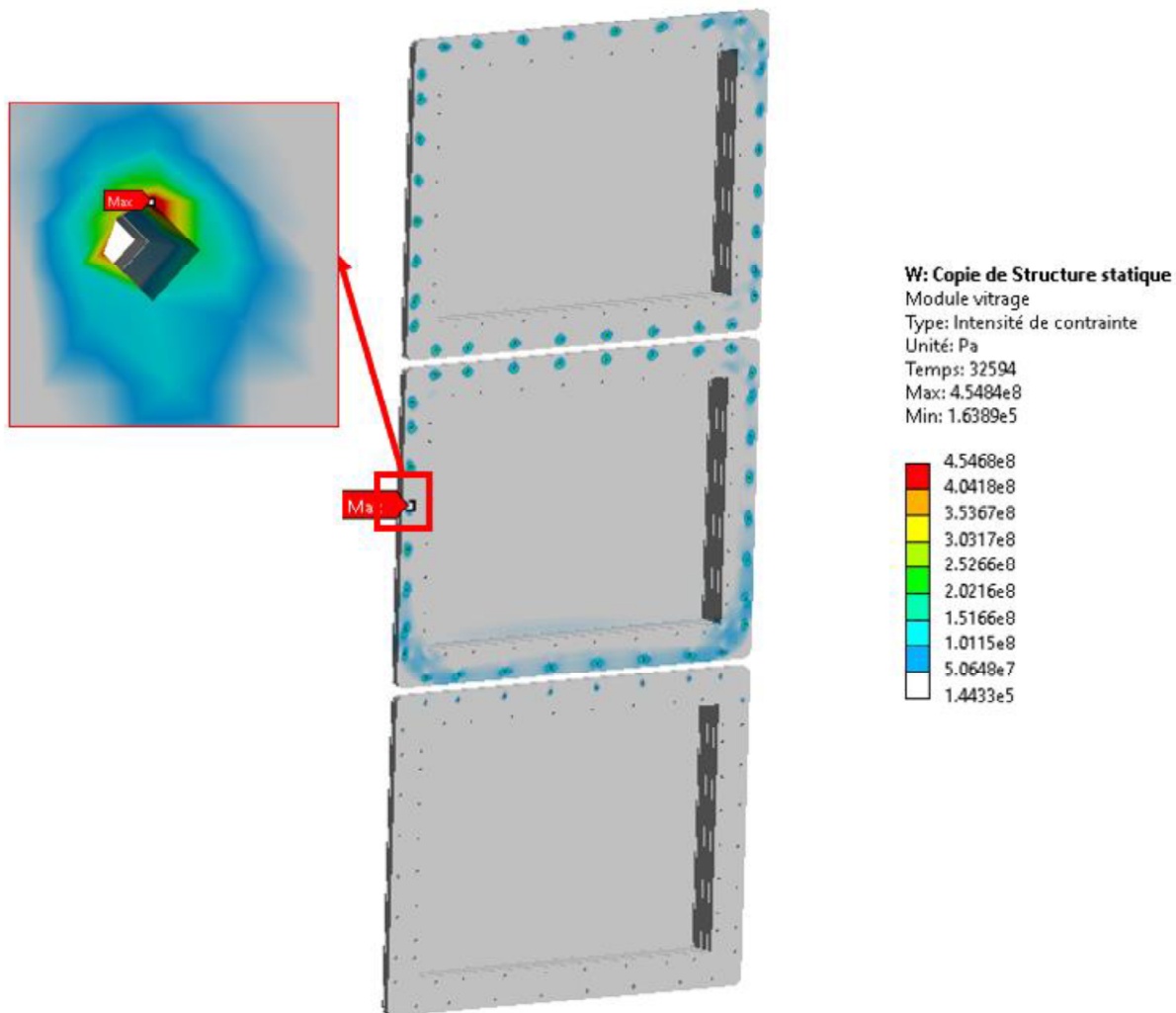


Figure 49 :Contrainte module vitrage complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le module vitré qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / module vitré. La liaison module vitré / vis est étudiée analytiquement.

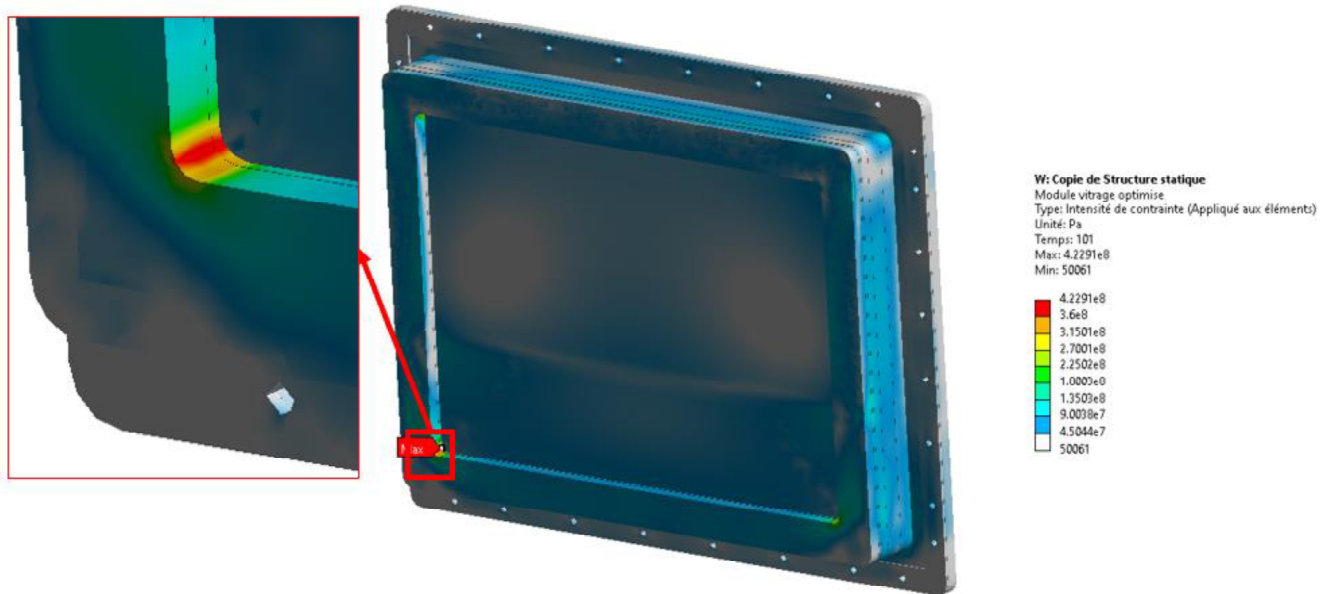


Figure 50 :Contrainte module vitrée sans vis

Il est constaté que la contrainte maximale est de 423 MPa. En optimisant les contraintes admissibles en considérant la contrainte admissible en fonction de la température calculé et non à température maximale, il en ressort le post traitement suivant :

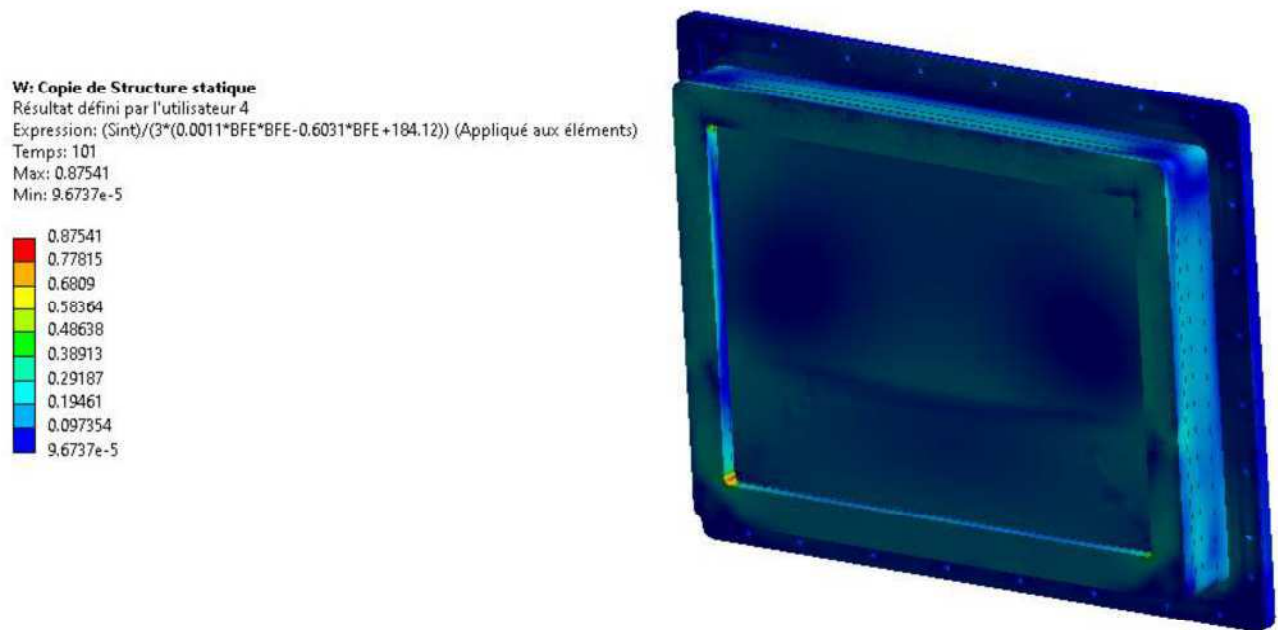


Figure 51 :Contrainte module vitrée sans vis

Le ratio « contrainte de Tresca en MPa / Contrainte admissible » est de 88%. Le module vitré est donc validé.

- Les contraintes dans le module « coin » sont présentées ci-dessous :

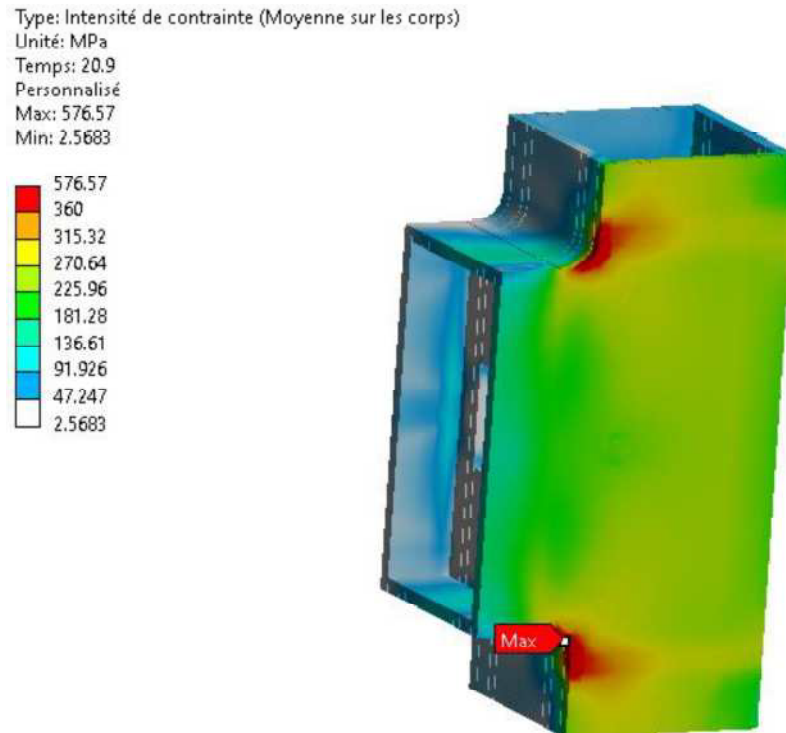


Figure 52 :Contrainte coin renforcé

Un dépassement de contraintes dans les congés est observé. Une linéarisation des contraintes dans cette zone est réalisée.

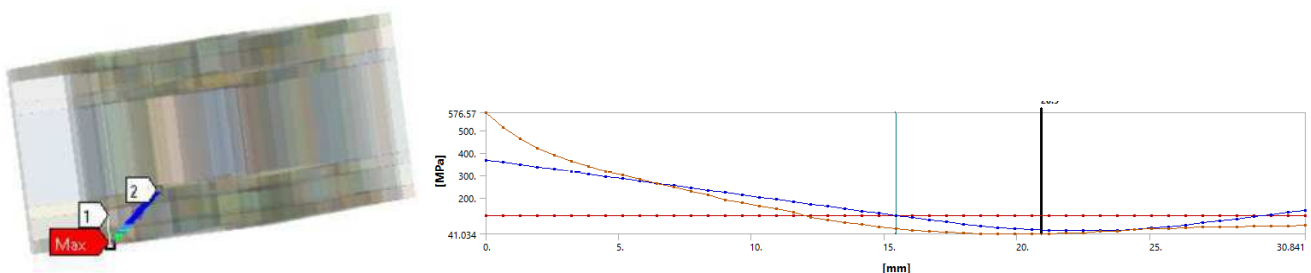


Figure 53 :Contrainte linéarisée, coin renforcé

La contrainte de Tresca linéarisée est de **366 MPa** pour une contrainte admissible de 360 MPa. Les coins ne sont pas validés. Une optimisation proposée est de commencer par un chauffage de vitre puis d'intégrer le gaz après 10 minutes.

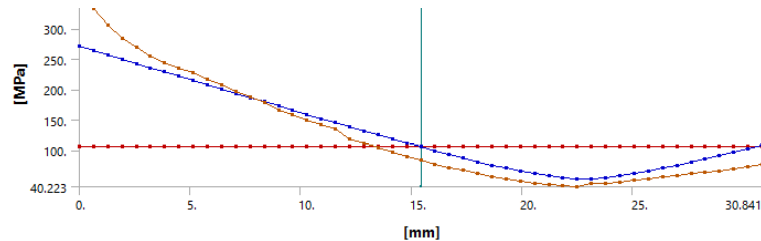
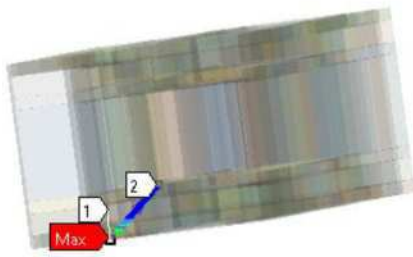
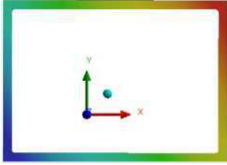
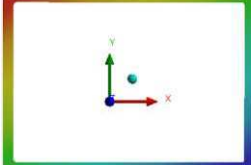



Figure 54 : Contrainte linéarisée, coin renforcé, avec optimisation

La contrainte de Tresca linéarisée est de 271 MPa pour une contrainte admissible de 360 MPa. Les coins sont validés.

### 8.2.3.3 Déplacements

Les déplacements relatifs maximaux dans le cas PP + Pression + Efforts extérieurs + Thermiques 6 des joints sont donnés ci-dessous :

Dans le plan de la vitre (X)	Dans le sens gravité (Y)	Orthogonalement au plan (Z)
Déplacement vitre haut x Type: Déplacement directionnel(Axe X) Unité: mm Système de coordonnées global Temps: 5947.2 Max: 0.09229 Min: -0.91118 	Déplacement vitre haut y Type: Déplacement directionnel(Axe Y) Unité: mm Système de coordonnées global Temps: 4500.7 Max: 1.4573 Min: -0.22754 	Déplacement vitre milieu Z Type: Déplacement directionnel(Axe Z) Unité: mm Système de coordonnées global Temps: 401 Max: 0.08628 Min: -1.314 
Le déplacement relatif maximal est de 1.804 mm	Le déplacement relatif maximal est de 1.685 mm	Le déplacement relatif maximal est de 2.20 mm



## 8.2.4 Cas PP + Pression + efforts extérieurs + Thermique cas 7

### 8.2.4.1 Résultats thermodynamiques

Le modèle thermodynamique ci-dessous concerne le cas thermique présenté en §6.3.2.2.

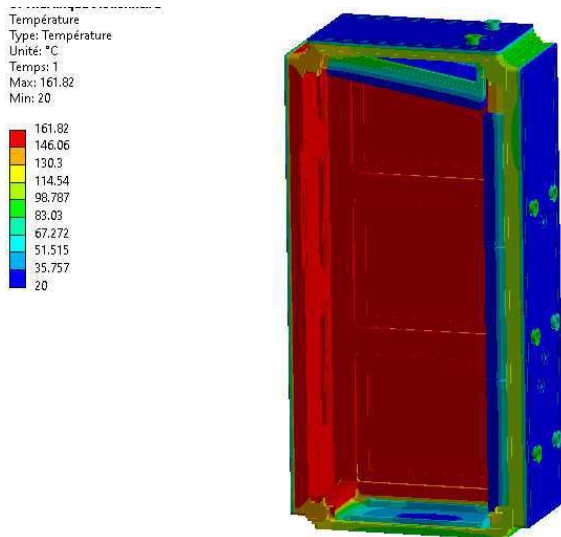


Figure 55 : Calcul thermique en régime stationnaire

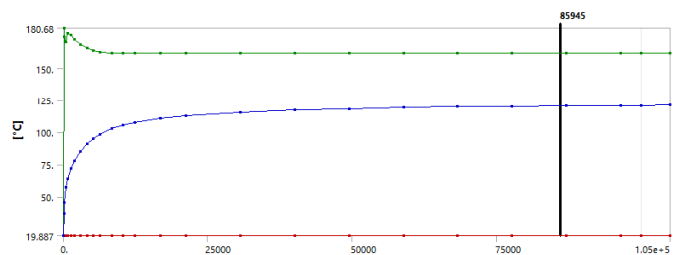


Figure 56 : Evolution de la température en fonction du temps

**Nota :** Sur la Figure 37, la courbe rouge représente la température minimale dans le système, la courbe bleue représente la température moyenne dans le système et la courbe verte correspond à la température maximale dans la structure. Il faut noter que le dépassement de température sur la courbe verte se situe au niveau d'un contact et n'est pas physique.

Il a été considéré que le régime permanent est établi lorsque 90% de la température établit en régime permanent est atteinte. Les points suivants de discrétisations ont été étudiés.

Zone	Température T=0se	Critère de 90 %	Temps (s)
Châssis	135.6	122.1	10923
Paroi Refroidie	102.7	92.5	56426
Couvercle	88.6	79.8	85946
Module Vitrage	127.9	115.2	27935
Module instrumenté	114.8	103.4	37630



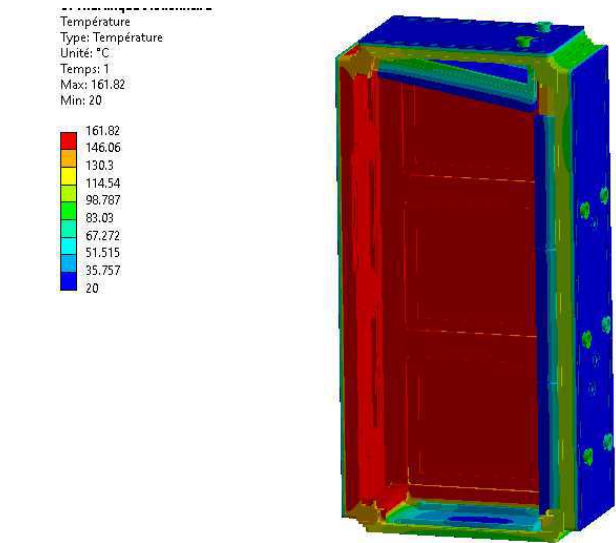


Figure 57 : Gradient de température en régime stationnaire

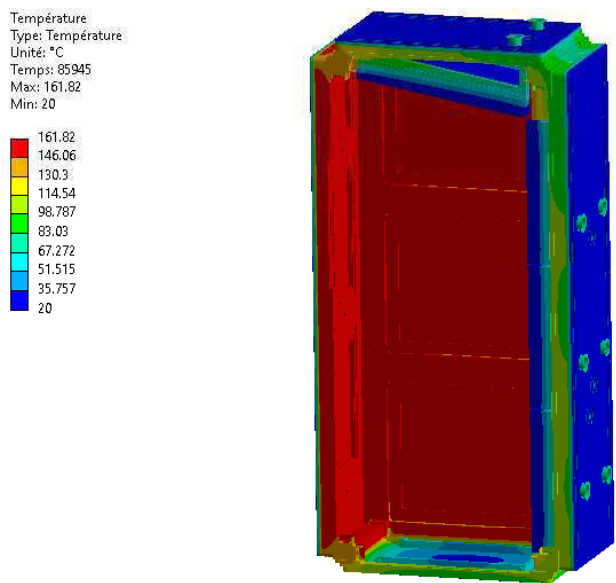


Figure 58 : Gradient de température après 85945 s

La durée maximale pour atteindre 90% de la température stabilisée sur les points post-traité est de 85 945 s.

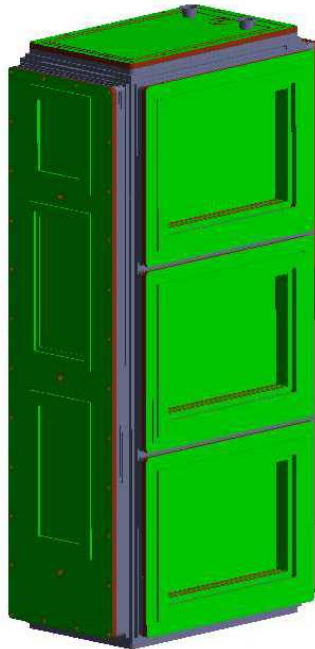
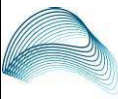


Figure 59 : Sonde de réaction de puissance

La Puissance en sortie système est de 2694W.

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>  <b>Projet KoKoMo</b>  <b>Selon CODAP 2022 div 2</b>  <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
	Indice : 00	Page : 58 / 88	

#### 8.2.4.2 Résultats thermomécaniques

Le cas étudié correspond au cas de chargement PP+ Pression + effort extérieur + température cas 7 (§6.3.2.3). Conformément au tableau §5.4, la contrainte admissible est de 3f. En première approche et de manière conservatrice, la contrainte admissible est prise à une température de 150 °C en tout point.

L'ensemble des contraintes par module sont présentées ci-dessous :

Zones	Contrainte de Tresca (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de sollicitation (%)
Châssis poutre	1192/ 329(*)	360	92
Paroi refroidie sur porte	258		72
Paroi refroidie sur couvercle	521/218 (*)		61
Porte injection	1034/315 (*)		88
Ensemble récupération d'eau	402/120 (*)		34
Module instrumenté	590 /212 (**)		59
Pieces forgées	288 (**)		80
Module vitrage	455/304 (*)		85
Vitre	156	/	/

Tableau 32 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur + Pression + Thermique cas 6 pour les éléments volumiques

(\*) Contrainte locale dû à la liaison vis / structure, voir justification ci-après. La notation est la suivante  
(« Contrainte de Tresca avec liaison vis et structure » / « Contrainte de Tresca sans liaison vis et structure »)

\*\*Contrainte linéarisée

zone	Contrainte de Tresca (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de sollicitation
Couvercle	127	360	36
Paroi refroidie	103		29
Châssis	335		94

Tableau 33 : Contrainte par zone dans le cas PP + effort extérieur pour les éléments volumiques

- Les contraintes dans le module « châssis poutre » sont présentées ci-dessous :

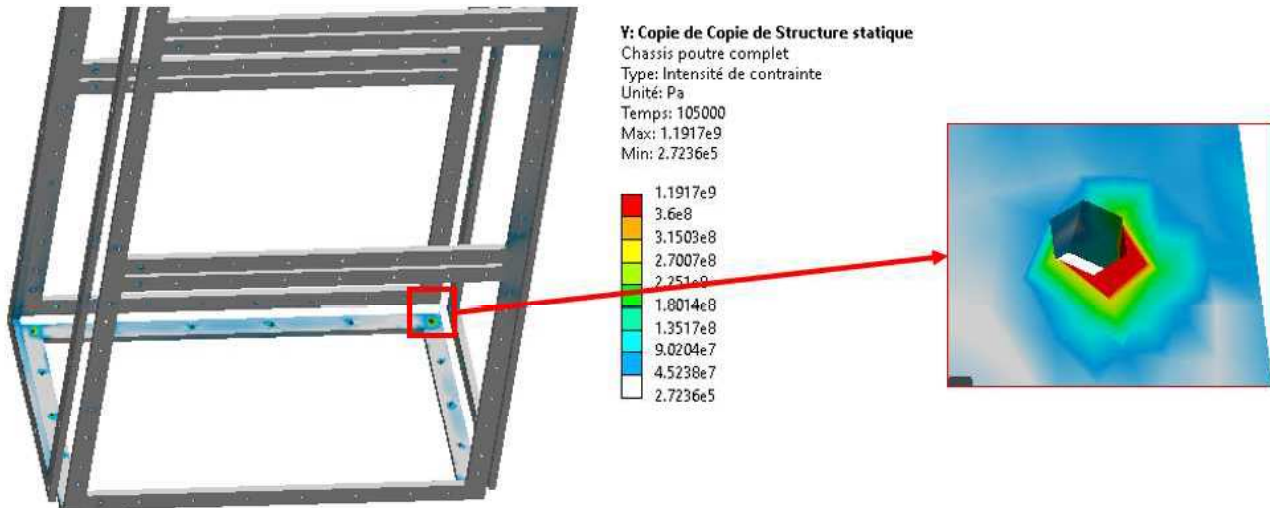


Figure 60 :Contrainte châssis poutre complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le châssis qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / châssis. La liaison châssis / vis est étudiée analytiquement.

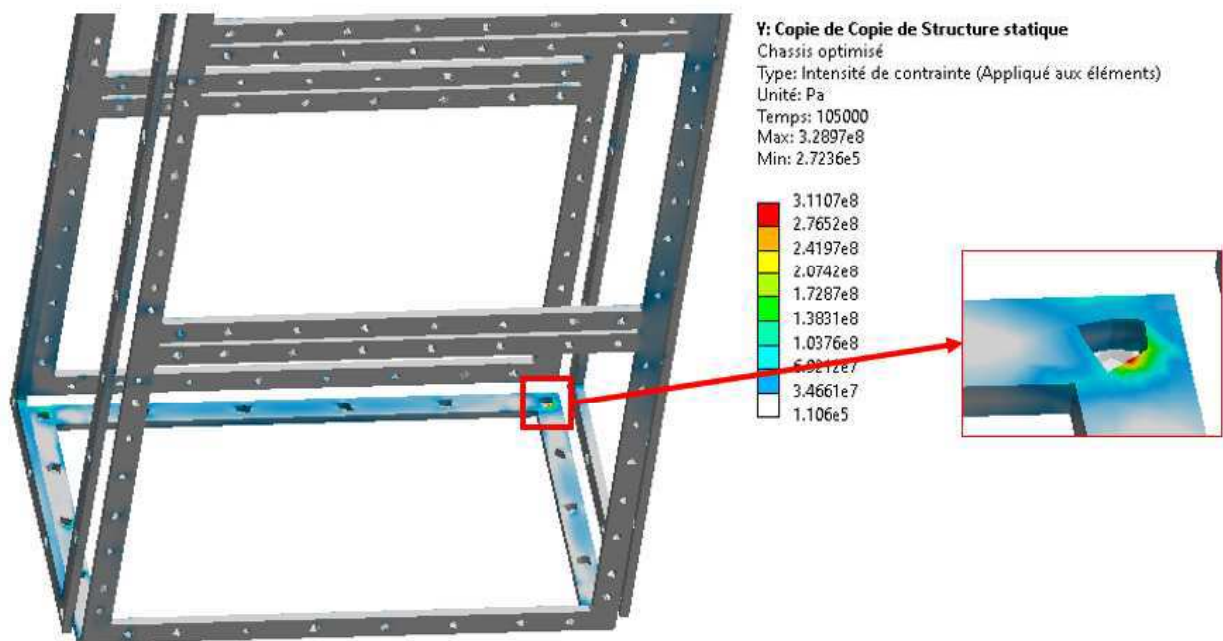


Figure 61 :Contrainte châssis poutre sans vis

Dans les zones courantes, la partie châssis est donc validée.

- Les contraintes dans le module « Paroi refroidit sur couvercle » sont présentées ci-dessous :

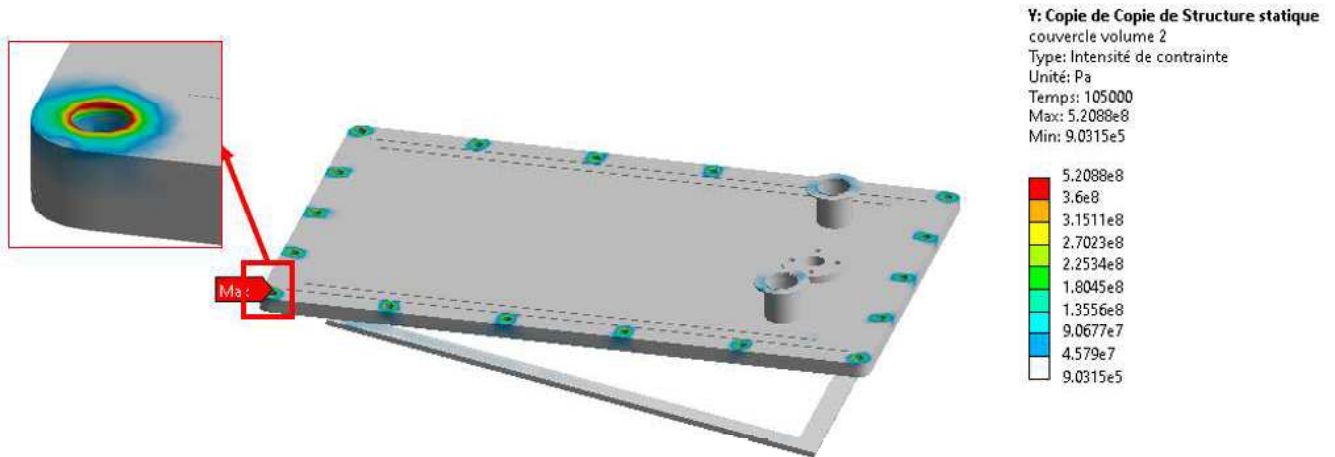


Figure 62 :Contrainte couvercle complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le couvercle qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / couvercle. La liaison couvercle / vis est étudiée analytiquement.

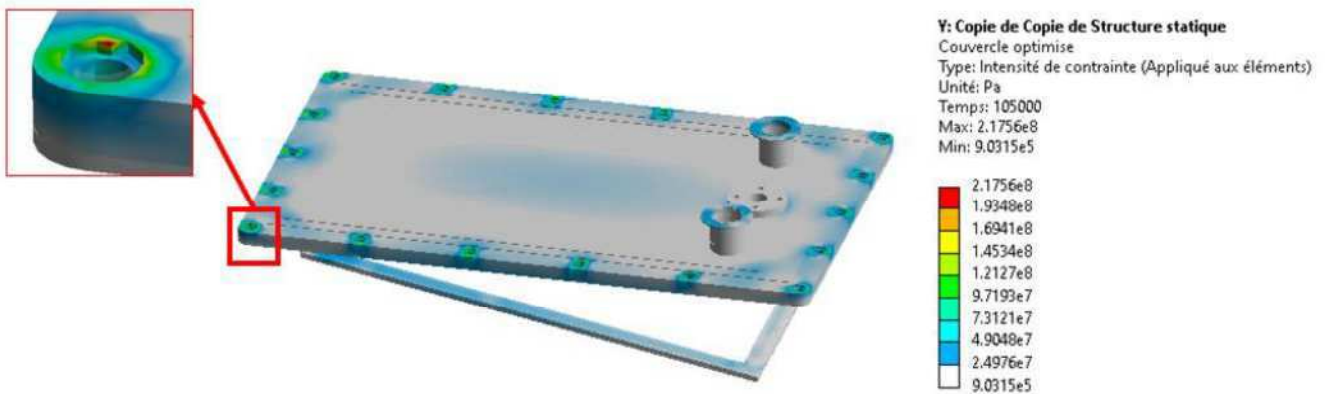


Figure 63 :Contrainte couvercle sans vis

Dans les zones courantes, le couvercle est donc validé.

- Les contraintes dans le module « Module instrumenté » sont présentées ci-dessous :

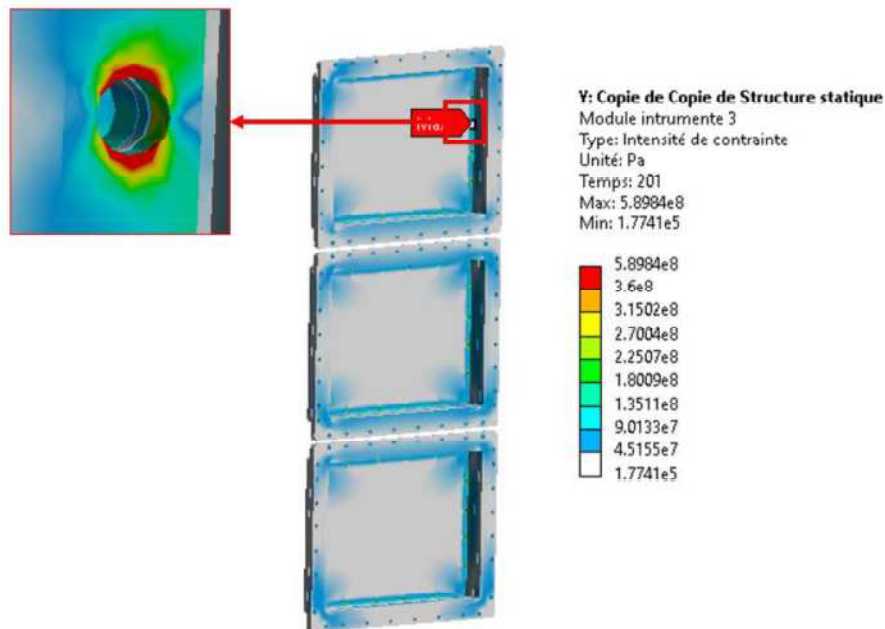


Figure 64 :Contrainte module instrumenté complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec la plaque en acier qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de linéariser la contrainte à cet endroit. La contrainte maximale de Tresca linéarisée à cet endroit est de 212 MPa.

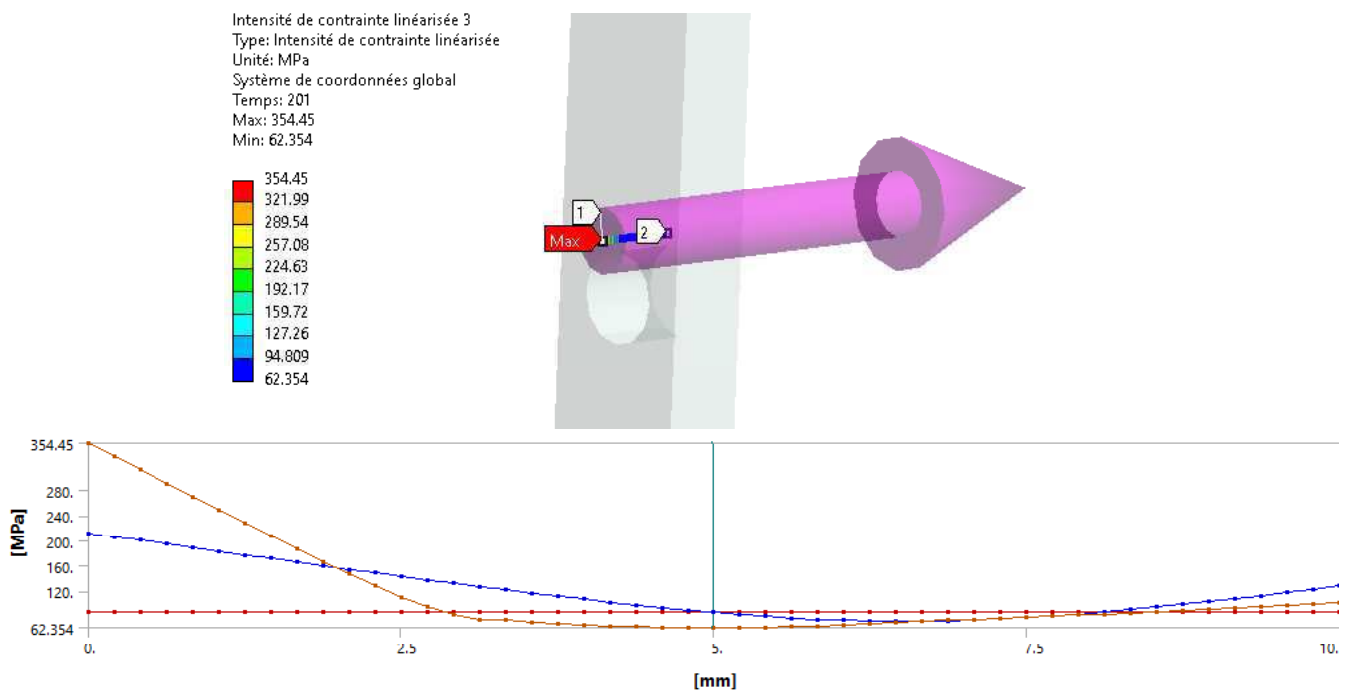


Figure 65 :Contrainte linéarisée à coté de la liaison vis / plaque

Le module est donc validé.



- Les contraintes dans le module « Porte injection» sont présentées ci-dessous :

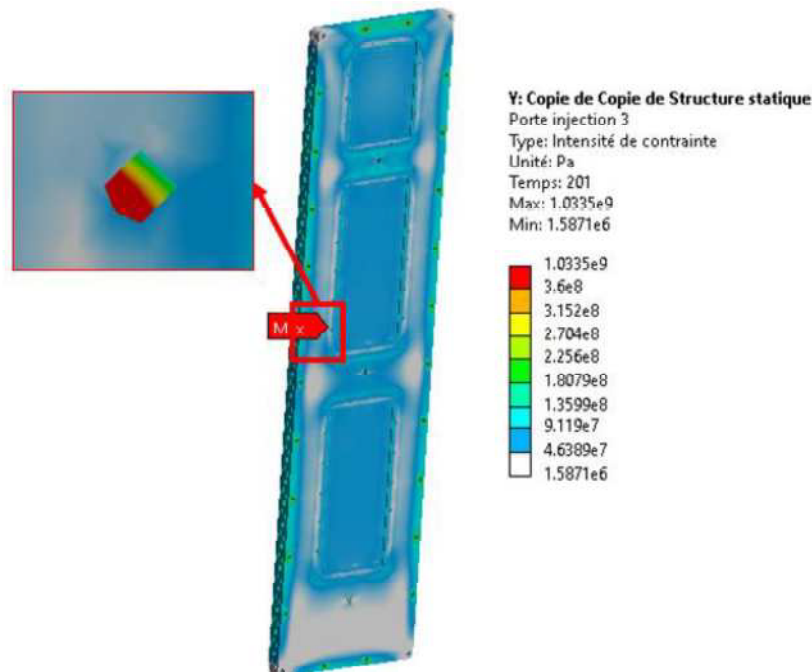


Figure 66 :Contrainte porte injection complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec la porte injection qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / porte injection. La liaison porte injection / vis est étudiée analytiquement.

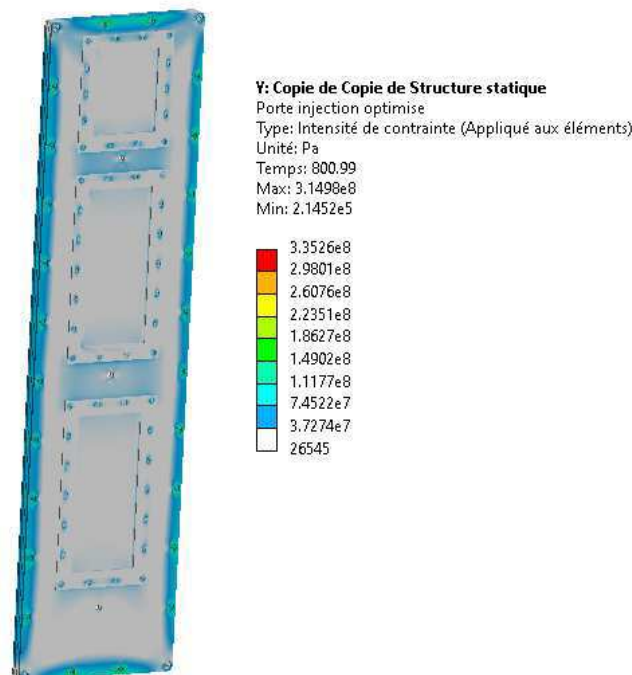


Figure 67 :Contrainte porte injection sans vis

Dans les zones courantes, la porte injection est donc validée.



- Les contraintes dans le module « Ensemble récupération d'eau » sont présentées ci-dessous :

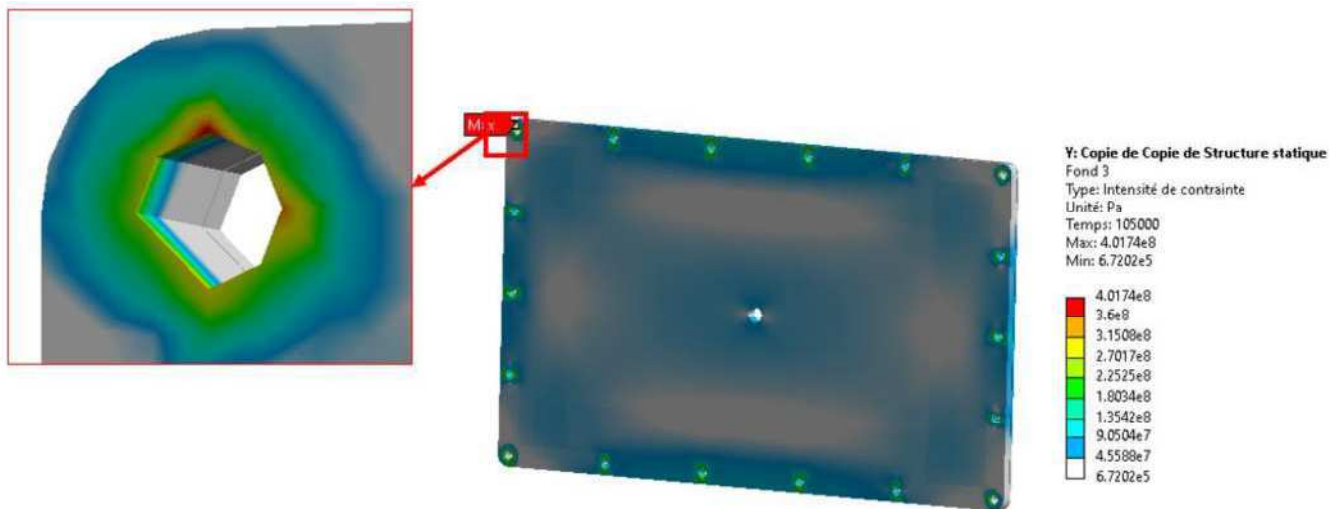


Figure 68 :Contrainte fond complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec la porte injection qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de Linéariser la contrainte dans cette zone. La contrainte de Tresca linéarisée est de 191 MPa.

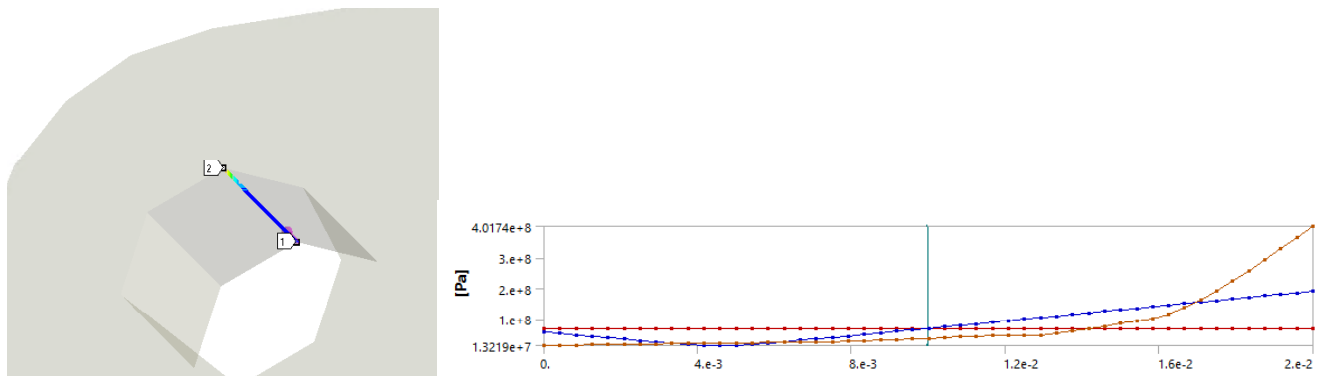


Figure 69 :Contrainte linéarisée

L'ensemble récupération d'eau est donc validé.

- Les contraintes dans le module « module vitrage » sont présentées ci-dessous :

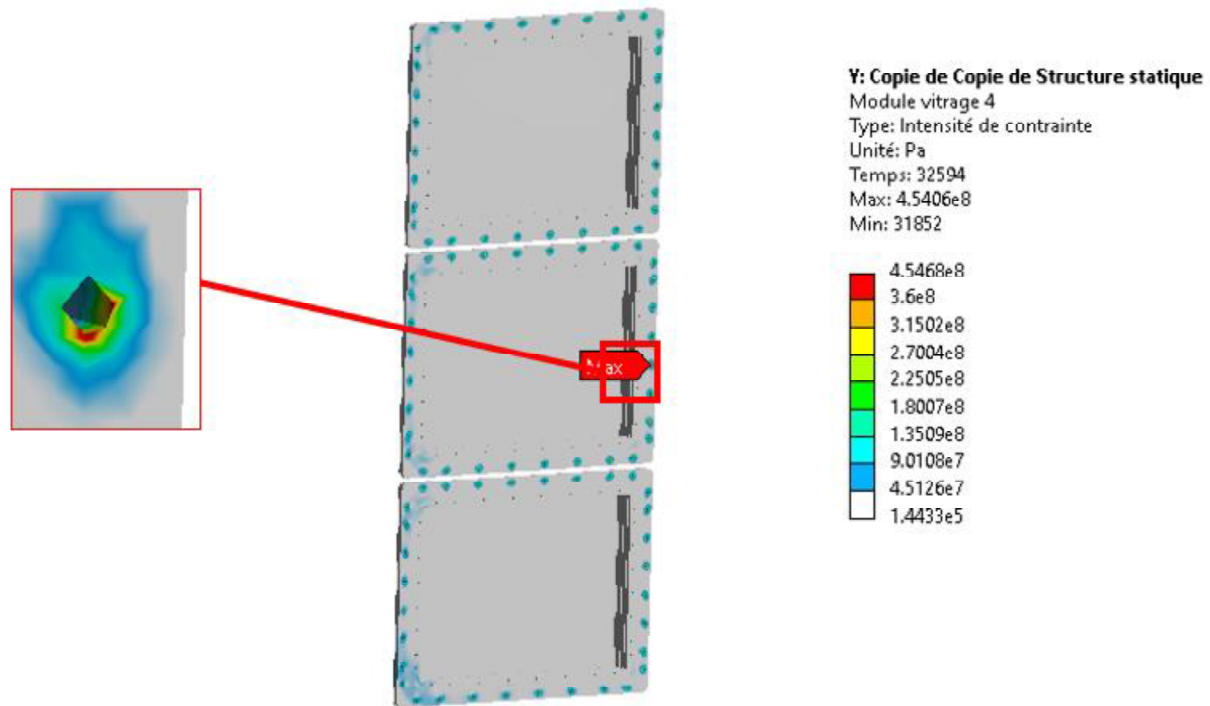


Figure 70 :Contrainte module vitrage complet

Un dépassement de contraintes autour des vis est visible. Ce dépassement est dû au fait de la modélisation de la liaison des vis avec le module vitré qui rend cette zone trop raide. Il est décidé de regarder la contrainte un élément plus éloigné de la liaison vis / module vitré. La liaison module vitré / vis est étudiée analytiquement.

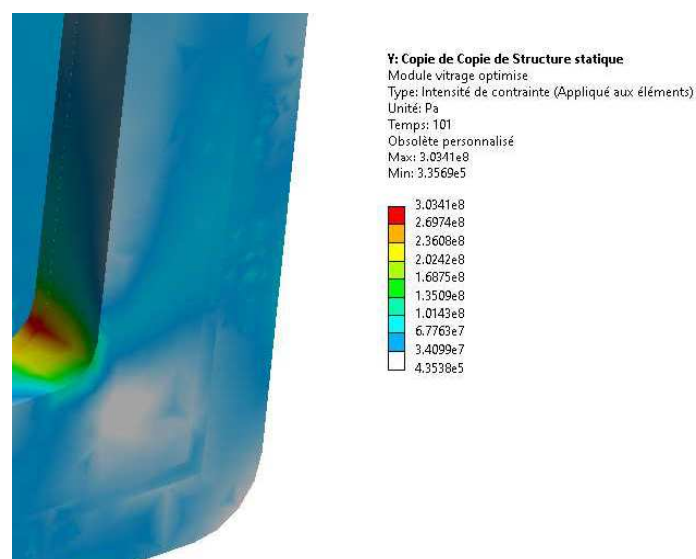


Figure 71 :Contrainte module vitré sans vis

Hors de ces zones, la contrainte maximale de Tresca est de 304 MPa ce qui est inférieur au 360 MPa. Dans les zones courantes, le module vitré est donc validé.

- Les contraintes dans le module « coin » sont présentées ci-dessous :

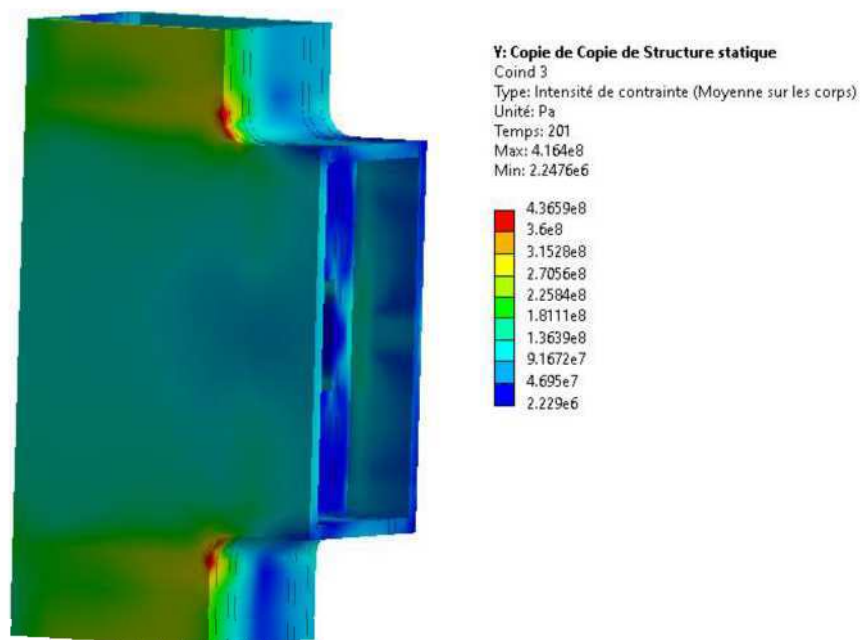


Figure 72 :Contrainte coin renforcé

Un dépassement de contraintes dans les congés est observé. Une linéarisation des contraintes dans cette zone est réalisée.

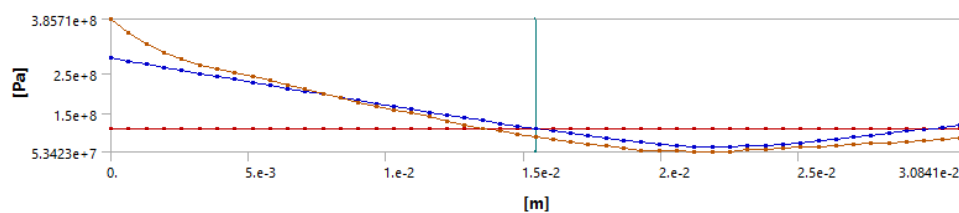
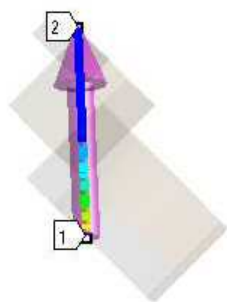
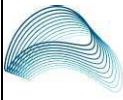


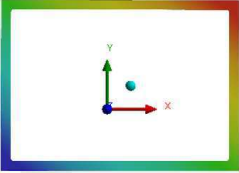
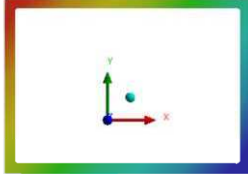
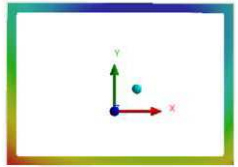
Figure 73 :Contrainte linéarisée, coin renforcé


La contrainte de Tresca linéarisée est de 288 MPa. Le modèle les coins sont donc validées.

 <b>PARLYM</b> ENERGIES & SYNERGIES PARLYM ENGINEERING	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 66 / 88

### 8.2.4.3 Déplacements

Les déplacements relatifs maximaux dans le cas PP + Pression + Efforts extérieurs + Thermiques 7 des joints sont donnés ci-dessous :

Dans le plan de la vitre (Z)	Dans le sens gravité (Y)	Orthogonalement au plan (Z)
<p>Déplacement Vtre haut x</p> <p>Type: Déplacement directionnel(Axe X)</p> <p>Unité: mm</p> <p>Système de coordonnées global</p> <p>Temps: 6303.8</p> <p>Max: 2.6359</p> <p>Min: 0.24374</p> 	<p>Déplacement vitre haut y</p> <p>Type: Déplacement directionnel(Axe Y)</p> <p>Unité: mm</p> <p>Système de coordonnées global</p> <p>Temps: 4201.3</p> <p>Max: 2.5455</p> <p>Min: 0.11352</p> 	<p>Déplacement vitre haut Z</p> <p>Type: Déplacement directionnel(Axe Z)</p> <p>Unité: mm</p> <p>Système de coordonnées global</p> <p>Temps: 8325.6</p> <p>Max: 1.9748</p> <p>Min: 0.44072</p> 
Le déplacement relatif maximal est de 2.393 mm	Le déplacement relatif maximal est de 2.530 mm	Le déplacement relatif maximal est de 1.535 mm

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 67 / 88

### 8.3 DIMENSIONNEMENT PRE CONTRAINTE DANS LES VIS

Afin de dimensionner les vis, les efforts maximaux vus dans tous les cas de services et dans le cas de pression d'assise sont calculés.

- Pour les cas de services, ces efforts sont extraits des éléments poutres modélisant les vis. Le tableau ci-dessous présente les efforts enveloppes sur toutes les vis pour tous les cas de chargements

- Pour la pression d'assise, un calcul analytique (§8.3.2) permet de calculer les efforts suivants.

Les cisaillements sont négligeables car la sollicitation principale est la force d'ouverture de la pression.

#### 8.3.1 Dimensionnement pré contrainte dans les vis cas de service

Pour le calcul de la boulonnerie en situation de service, il est nécessaire de connaître les efforts maximaux passant dans la boulonnerie dans les différents cas d'étude de services. Les efforts maximaux issus de l'ensemble des cas de charge sont présentés ci-dessous :

Cas d'étude	F <sub>axial</sub> (N)	F <sub>cisaillement</sub> (N)
Cas de service pour les M10	20526	4228
Cas de service pour les M16	10482	1822

Tableau 34 : Efforts maximaux dans la boulonnerie

Les calculs sont fait séparément afin d'estimer pour chaque diamètre de vis le couple de serrage nécessaire.


##### 8.3.1.1 Vis M10

Pour les M10 présents dans la CAO [3] :

$$C = \left[ \frac{1.5}{2\pi} + \frac{0.18 \times 9.026}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 13}{2} \right] \times \frac{20526}{(1 - 0.1)} = 53016 \text{ N.mm}$$

$$F_{max} = \frac{53016 \times (1 + 0.1)}{\left[ \frac{1.5}{2\pi} + \frac{0.18 \times 9.026}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 13}{2} \right]} = 35794 \text{ N}$$

$$C_{Torsion} = 35794 \times (0.16 \times 1.5 + 0.557 \times 0.12 \times 9.026) = 30560 \text{ N.mm}$$

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
	Indice : 00		Page : 68 / 88

Les boulonneries sont vérifiées conformément aux critères énoncés en §5.6 et sont calculées par la fiche ci-dessous :

Pour les M10 :

$F_{\text{axial}} := (35794\text{N})$	Effort axial
$F_{\text{tranchant}} := 0\text{N}$	Effort tranchant
$M_{\text{flexion}} := 0\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de flexion
$M_{\text{torsion}} := 30560\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de torsion
$d_n := 8.16\text{mm}$	Diamètre du noyau
$\text{Section} := 58\text{mm}^2$	Section résistante
$f := 120\text{MPa}$	Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée
$\text{Situation} := 0$	0 : Situation normale de service 1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve
$\text{Cas} := 0$	0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation 1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable
$R_{p\_boulonnerie} := 378\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée
$R_{p\_corps} := 181\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée
$\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}} := 122\text{mm}^2$	Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle
$\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}} := 122\text{mm}^2$	Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

#### C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{\text{eq.moy}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + 0.75 \cdot \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 752\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{eq.max}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}} + \frac{32 \cdot M_{\text{flexion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 842\text{MPa}$$

#### Pression de contact

$$P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}}} = 293\text{MPa}$$

$$P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}}} = 293\text{MPa}$$

$$\text{Ratio}_{\text{contact}} := \max\left(\frac{P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}}}{R_{p\_boulonnerie}}, \frac{P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}}}{R_{p\_corps}}\right) = 162\%$$

#### C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$\text{Critère}_{\text{moy}} :=$	"Vérifié" if Situation = 0 $\wedge$ $\sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f$	= "Non vérifié"
	"Vérifié" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 1 $\wedge$ $\sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f$	
	"Non applicable" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 0	
	"Non vérifié" otherwise	

$\text{Critère}_{\text{max}} :=$	"Vérifié" if $\sigma_{\text{eq.max}} \leq 3 \cdot f$	= "Non vérifié"
	"Non vérifié" otherwise	

$\text{Critère}_{\text{contact}} :=$	"Vérifié" if Situation = 0 $\wedge$ $\text{Ratio}_{\text{contact}} < 1$	= "Non vérifié"
	"Vérifié" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 0 $\wedge$ $\text{Ratio}_{\text{contact}} < 1$	
	"Non applicable" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 1	
	"Non vérifié" otherwise	

Les boulons M10 ne sont pas validés. Des améliorations ont été étudié ci-dessous.



Dans un premier temps, un calcul est mené pour déterminer l'effort maximal permettant de valider les M12- A5 :

$$C = \left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.18 \times 10.863}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 15}{2} \right] \times \frac{12522}{(1 - 0.1)} = 37934 \text{ N.mm}$$

$$F_{max} = \frac{37934 \times (1 + 0.1)}{\left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.12 \times 10.863}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.12 \times 15}{2} \right]} = 21844 \text{ N}$$

$$C_{Torsion} = 21844 \times (0.16 \times 1.75 + 0.557 \times 0.12 \times 10.863) = 22546 \text{ N.mm}$$

L'effort maximal pour les cas de service doit être de 12 522 N.

Ces efforts ont été déterminés afin d'avoir une sollicitation maximale dans les boulons.

$F_{axial} \approx (21844\text{N})$	Effort axial
$F_{tranchant} \approx 0\text{N}$	Effort tranchant
$M_{flexion} \approx 0\text{N.mm}$	Moment de flexion
$M_{torsion} \approx 22546\text{N.mm}$	Moment de torsion
$d_n \approx 9.853\text{mm}$	Diamètre du noyau
$Section \approx 84.3\text{mm}^2$	Section résistante
$f \approx 160\text{MPa}$	Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée
$Situation \approx 0$	0 : Situation normale de service 1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve
$Cas \approx 0$	0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation 1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable
$R_{p\_boulonnerie} \approx 480\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée
$R_{p\_corps} \approx 181\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée
$Surface\_contact_{tête\_rondelle} \approx 141.37\text{mm}^2$	Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle
$Surface\_contact_{rondelle\_corps} \approx 141.37\text{mm}^2$	Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

## C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{eq,moy} = \sqrt{\left(\frac{F_{axial}}{Section}\right)^2 + 4 \left(\frac{F_{tranchant}}{Section} + 0.75 \frac{16 \cdot M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 316 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq,max} = \sqrt{\left(\frac{F_{axial}}{Section} + \frac{32 \cdot M_{flexion}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2 + 4 \left(\frac{F_{tranchant}}{Section} + \frac{16 \cdot M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 353 \text{ MPa}$$

## Pression de contact

$$P_{Contact_{tête\_rondelle}} = \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{tête\_rondelle}} = 155 \text{ MPa}$$

$$P_{Contact_{rondelle\_corps}} = \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{rondelle\_corps}} = 155 \text{ MPa}$$

$$Ratio_{contact} = \max\left(\frac{P_{Contact_{tête\_rondelle}}}{R_{p\_boulonnerie}}, \frac{P_{Contact_{rondelle\_corps}}}{R_{p\_corps}}\right) = 85\%$$

## C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$Critère_{moy} \approx$	"Vérfié" if Situation = 0 $\wedge$ $\sigma_{eq,moy} \leq 2 \cdot f$ = "Vérfié"
	"Vérfié" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 1 $\wedge$ $\sigma_{eq,moy} \leq 2 \cdot f$
	"Non applicable" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 0
	"Non vérfié" otherwise

$Critère_{max} \approx$	"Vérfié" if $\sigma_{eq,max} \leq 3 \cdot f$ = "Vérfié"
	"Non vérfié" otherwise

$Critère_{contact} \approx$	"Vérfié" if Situation = 0 $\wedge$ Ratio <sub>contact</sub> < 1 = "Vérfié"
	"Vérfié" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 0 $\wedge$ Ratio <sub>contact</sub> < 1
	"Non applicable" if Situation = 1 $\wedge$ Cas = 1
	"Non vérfié" otherwise

Ces valeurs d'efforts permettent de valider l'ensemble des boulons à partir de 32594s. Ces valeurs permettent aussi de valider l'ensemble des boulons sauf 16 (12 coté module vitrage, 4 coté module instrumenté), à tout instant.

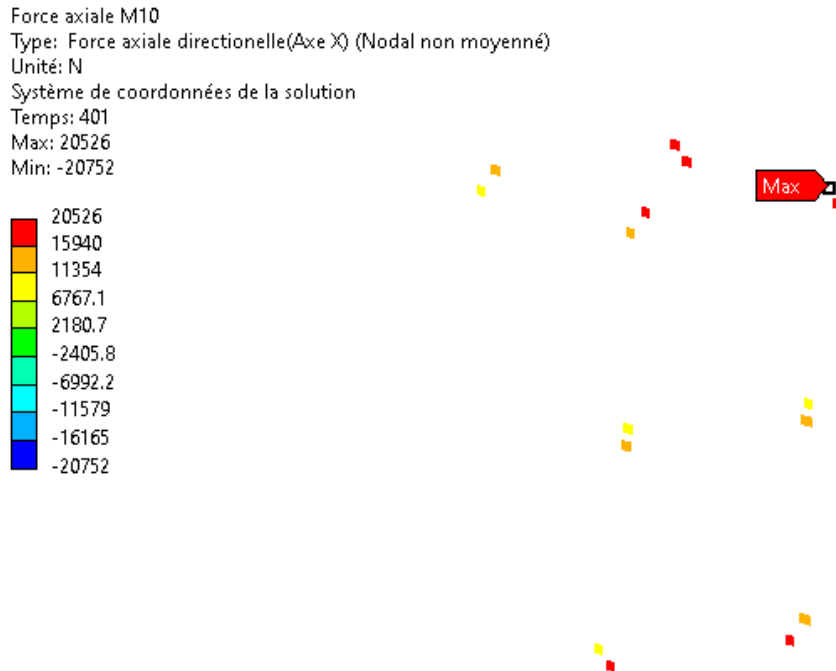


Figure 74 : Boulons en dépassement M12-A5

Dans un second temps, les efforts des M10 ont été appliqués à des M16 en A5, cela donne comme calculs suivant :

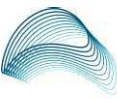
$$C = \left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.18 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 20}{2} \right] \times \frac{20526}{(1 - 0.1)} = 82331 \text{ N.mm}$$

$$F_{max} = \frac{82331 \times (1 + 0.1)}{\left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.12 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.12 \times 20}{2} \right]} = 36042 \text{ N}$$

$$C_{Torsion} = 36042 \times (0.16 \times 2 + 0.557 \times 0.12 \times 14.701) = 48220 \text{ N.mm}$$

Les vis non validées sont situées sur les coins. Cela veut dire qu'il y a un risque de fuite au début de la chauffe. Un écartement de l'ordre de 0.4mm.

Une solution serait de mettre des vis M16 en A5 sur les coins.

 <div><b>PARLYM</b> ENERGIES &amp; SYNERGIES PARLYM ENGINEERING</div>	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 71 / 88

$F_{\text{axial}} := (36042\text{N})$	Effort axial
$F_{\text{tranchant}} := 0\text{N}$	Effort tranchant
$M_{\text{flexion}} := 0\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de flexion
$M_{\text{torsion}} := 48220\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de torsion
$d_n := 13.546\text{mm}$	Diamètre du noyau
$\text{Section} := 157\text{mm}^2$	Section résistante
$f := 160\text{MPa}$	Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée
$\text{Situation} := 0$	0 : Situation normale de service 1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve
$\text{Cas} := 0$	0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation 1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable
$R_{p\_boulonnerie} := 480\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée
$R_{p\_corps} := 181\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée
$\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle
$\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

#### C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{\text{eq.moy}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + 0.75 \cdot \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 273 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{eq.max}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}} + \frac{32 \cdot M_{\text{flexion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 303 \cdot \text{MPa}$$

#### Pression de contact

$$P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}}} = 144 \cdot \text{MPa}$$

$$P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}}} = 144 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Ratio}_{\text{contact}} := \max\left(\frac{P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}}}{R_{p\_boulonnerie}}, \frac{P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}}}{R_{p\_corps}}\right) = 79. \%$$

#### C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$$\text{Critère}_{\text{moy}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 0 \wedge \sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 1 \wedge \sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Non applicable"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 0 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

$$\text{Critère}_{\text{max}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if } \sigma_{\text{eq.max}} \leq 3 \cdot f \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

$$\text{Critère}_{\text{contact}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 0 \wedge \text{Ratio}_{\text{contact}} < 1 \\ \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 0 \wedge \text{Ratio}_{\text{contact}} < 1 \\ \text{"Non applicable"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 1 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

Les boulons sont validés en M16, matériau A5.

### 8.3.1.2 Vis M16

Pour les M16 présente dans la CAO [3] :

$$C = \left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.18 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 20}{2} \right] \times \frac{10482}{(1 - 0.1)} = 42043 \text{ N.mm}$$

$$F_{max} = \frac{42043 \times (1 + 0.1)}{\left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.12 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.12 \times 20}{2} \right]} = 18405 \text{ N}$$

$$C_{Torsion} = 34952 \times (0.16 \times 2 + 0.557 \times 0.12 \times 14.701) = 24624 \text{ N.mm}$$

#### Données d'entrée

$F_{axial} := (18405\text{N})$	Effort axial
$F_{tranchant} := 0\text{N}$	Effort tranchant
$M_{flexion} := 0\text{N.mm}$	Moment de flexion
$M_{torsion} := 24624\text{N.mm}$	Moment de torsion
$d_n := 13.516\text{mm}$	Diamètre du noyau
$Section := 157\text{mm}^2$	Section résistante
$f := 120\text{MPa}$	Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée
$Situation := 0$	0 : Situation normale de service 1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve
$Cas := 0$	0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation 1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable
$R_{p\_boulonnerie} := 360\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée
$R_{p\_corps} := 181\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée
$Surface\_contact_{tête\_rondelle} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle
$Surface\_contact_{rondelle\_corps} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

#### C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{eq,moy} := \sqrt{\left( \frac{F_{axial}}{Section} \right)^2 + 4 \left( \frac{F_{tranchant}}{Section} + 0.75 \frac{16 \cdot M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2} = 140 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq,max} := \sqrt{\left( \frac{F_{axial}}{Section} + \frac{32 \cdot M_{flexion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2 + 4 \left( \frac{F_{tranchant}}{Section} + \frac{16 \cdot M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2} = 155 \text{ MPa}$$

#### Pression de contact

$$P_{Contact_{tête\_rondelle}} := \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{tête\_rondelle}} = 73 \text{ MPa}$$

$$P_{Contact_{rondelle\_corps}} := \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{rondelle\_corps}} = 73 \text{ MPa}$$

$$Ratio_{contact} := \max \left( \frac{P_{Contact_{tête\_rondelle}}}{R_{p\_boulonnerie}}, \frac{P_{Contact_{rondelle\_corps}}}{R_{p\_corps}} \right) = 41\%$$

#### C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$$Critère_{moy} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if } Situation = 0 \wedge \sigma_{eq,moy} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Vérfié"} & \text{if } Situation = 1 \wedge Cas = 1 \wedge \sigma_{eq,moy} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Non applicable"} & \text{if } Situation = 1 \wedge Cas = 0 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

$$Critère_{max} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if } \sigma_{eq,max} \leq 3 \cdot f \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

$$Critère_{contact} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if } Situation = 0 \wedge Ratio_{contact} < 1 \\ \text{"Vérfié"} & \text{if } Situation = 1 \wedge Cas = 0 \wedge Ratio_{contact} < 1 \\ \text{"Non applicable"} & \text{if } Situation = 1 \wedge Cas = 1 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

Les boulons M16 sont validés.

### 8.3.2 Dimensionnement pré contrainte dans les vis cas de pression d'assise

#### 8.3.2.1 Vis M16 [3]

La pression d'assise appliquée sur chaque joint est de 2.7 MPa conformément au document [1]. Un calcul analytique est mené afin de connaître les efforts appliqués sur chaque joint.

Pour les joints des portes, couvercle et fond, une surface maximale est déterminée.

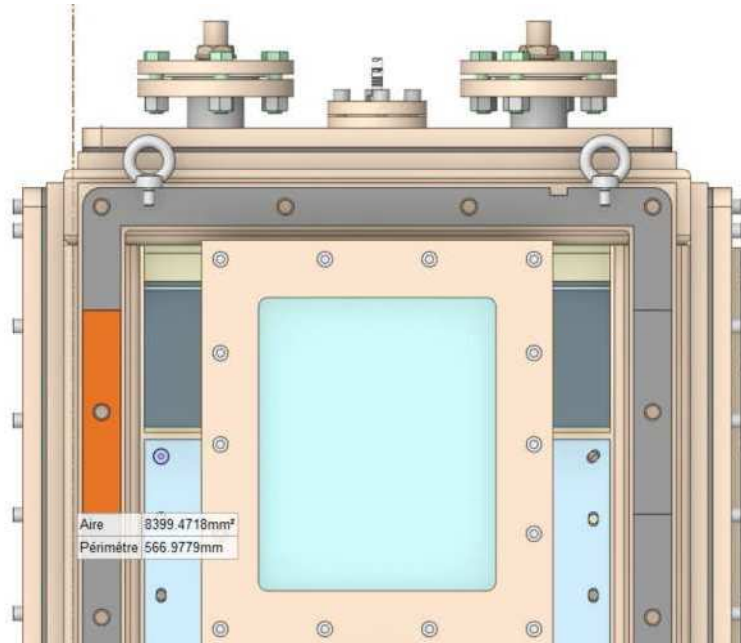



Figure 75 : Surface de pression d'assise maximale

Chaque boulon est soumis au maximum à une pression de 2.7 MPa autour de lui agissant sur une surface de joint de 8399 mm². Cette zone est définie de manière géométrique en traçant des séparations équidistantes entre les vis. La zone la plus étendue est présentée dans l'image ci-dessus (8 399 mm² pour un effort de 22 680N).

$$C = \left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.18 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 20}{2} \right] \times \frac{22\,680}{(1 - 0.1)} = 90971 \text{ N.mm}$$

$$F_{max} = \frac{90971 \times (1 + 0.1)}{\left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.12 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.12 \times 20}{2} \right]} = 39825 \text{ N}$$

$$C_{Torsion} = 39825 \times (0.16 \times 2 + 0.557 \times 0.12 \times 14.701) = 53281 \text{ N.mm}$$

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
	Indice : 00		Page : 74 / 88

$F_{\text{axial}} := (39825\text{N})$	Effort axial
$F_{\text{tranchant}} := 0\text{N}$	Effort tranchant
$M_{\text{flexion}} := 0\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de flexion
$M_{\text{torsion}} := 53281\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de torsion
$d_n := 13.546\text{mm}$	Diamètre du noyau
$\text{Section} := 157\text{mm}^2$	Section résistante
$f := 120\text{MPa}$	Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée
$\text{Situation} := 0$	0 : Situation normale de service 1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve
$\text{Cas} := 0$	0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation 1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable
$R_{p\_boulonnerie} := 360\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée
$R_{p\_corps} := 181\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée
$\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle
$\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

#### C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{\text{eq.moy}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}}\right)^2 + 4 \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + 0.75 \cdot \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 302.\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{eq.max}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}} + \frac{32 \cdot M_{\text{flexion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2 + 4 \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 335.\text{MPa}$$

#### Pression de contact

$$P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}}} = 159.\text{MPa}$$

$$P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}}} = 159.\text{MPa}$$

$$\text{Ratio}_{\text{contact}} := \max\left(\frac{P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}}}{R_{p\_boulonnerie}}, \frac{P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}}}{R_{p\_corps}}\right) = 88.\%$$

#### C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$$\text{Critère}_{\text{moy}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 0 \wedge \sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 1 \wedge \sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Non applicable"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 0 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Non vérifié"}$$


$$\text{Critère}_{\text{max}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if } \sigma_{\text{eq.max}} \leq 3 \cdot f \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Critère}_{\text{contact}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 0 \wedge \text{Ratio}_{\text{contact}} < 1 \\ \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 0 \wedge \text{Ratio}_{\text{contact}} < 1 \\ \text{"Non applicable"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 1 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

**La pression d'assise n'est pas validée pour des M16 – A4. Deux optimisations sont possibles :**

- Passer en M16-A5,
- Changer pour un joint avec une pression d'assise de 2.1 MPa.



	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002
	Indice : 00		Page : 75 / 88

### Calcul avec 2.1 MPa en pression d'assise :

Chaque boulon est soumis au maximum à une pression de 2.1 MPa agissant sur une surface de joint de 8400 mm². Cela se traduit par un effort de 17 640 N.

$$C = \left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.18 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 20}{2} \right] \times \frac{17640}{(1 - 0.1)} = 70754 \text{ N.mm}$$

$$F_{max} = \frac{70754 \times (1 + 0.1)}{\left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.12 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.12 \times 20}{2} \right]} = 30975 \text{ N}$$

$$C_{Torsion} = 30975 \times (0.16 \times 2 + 0.557 \times 0.12 \times 14.701) = 41441 \text{ N.mm}$$

$F_{axial} := (30975\text{N})$	Effort axial
$F_{tranchant} := 0\text{N}$	Effort tranchant
$M_{flexion} := 0\text{N.mm}$	Moment de flexion
$M_{torsion} := 41441\text{N.mm}$	Moment de torsion
$d_n := 13.546\text{mm}$	Diamètre du noyau
$Section := 157\text{mm}^2$	Section résistante
$f := 120\text{MPa}$	Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée
$Situation := 0$	0 : Situation normale de service 1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve
$Cas := 0$	0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation 1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable
$R_{p\_boulonnerie} := 360\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée
$R_{p\_corps} := 181\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée
$Surface\_contact_{tête\_rondelle} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle
$Surface\_contact_{rondelle\_corps} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

#### C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{eq,moy} := \sqrt{\left( \frac{F_{axial}}{Section} \right)^2 + 4 \left( \frac{F_{tranchant}}{Section} + 0.75 \frac{16 M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2} = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq,max} := \sqrt{\left( \frac{F_{axial}}{Section} + \frac{32 M_{flexion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2 + 4 \left( \frac{F_{tranchant}}{Section} + \frac{16 M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2} = 260 \text{ MPa}$$

#### Pression de contact

$$P_{Contact_{tête\_rondelle}} := \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{tête\_rondelle}} = 123 \text{ MPa}$$

$$P_{Contact_{rondelle\_corps}} := \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{rondelle\_corps}} = 123 \text{ MPa}$$

$$Ratio_{contact} := \max \left( \frac{P_{Contact_{tête\_rondelle}}}{R_{p\_boulonnerie}}, \frac{P_{Contact_{rondelle\_corps}}}{R_{p\_corps}} \right) = 68 \%$$

#### C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$Critère_{moy} :=$	"Vérifié" if $Situation = 0 \wedge \sigma_{eq,moy} \leq 2 \cdot f$	"Vérifié"
	"Vérifié" if $Situation = 1 \wedge Cas = 1 \wedge \sigma_{eq,moy} < 2 \cdot f$	
	"Non applicable" if $Situation = 1 \wedge Cas = 0$	
	"Non vérifié" otherwise	
$Critère_{max} :=$	"Vérifié" if $\sigma_{eq,max} \leq 3 \cdot f$	"Vérifié"
	"Non vérifié" otherwise	
$Critère_{contact} :=$	"Vérifié" if $Situation = 0 \wedge Ratio_{contact} < 1$	"Vérifié"
	"Vérifié" if $Situation = 1 \wedge Cas = 0 \wedge Ratio_{contact} < 1$	
	"Non applicable" if $Situation = 1 \wedge Cas = 1$	
	"Non vérifié" otherwise	

Les boulons M16 – A4 sont validés avec une pression d'assise maximale de **2.1 MPa**.

## Calcul en passant en M16-A5 :

$F_{\text{axial}} := (39825\text{N})$	Effort axial
$F_{\text{tranchant}} := 0\text{N}$	Effort tranchant
$M_{\text{flexion}} := 0\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de flexion
$M_{\text{torsion}} := 53281\text{N}\cdot\text{mm}$	Moment de torsion
$d_n := 13.546\text{mm}$	Diamètre du noyau
$\text{Section} := 157\text{mm}^2$	Section résistante
$f := 160\text{MPa}$	Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée
$\text{Situation} := 0$	0 : Situation normale de service 1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve
$\text{Cas} := 0$	0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation 1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable
$R_{\text{p\_boulonnerie}} := 480\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée
$R_{\text{p\_corps}} := 181\text{MPa}$	Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée
$\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle
$\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}} := 251\text{mm}^2$	Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

### C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{\text{eq.moy}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}}\right)^2 + 4 \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + 0.75 \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 302 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{eq.max}} := \sqrt{\left(\frac{F_{\text{axial}}}{\text{Section}} + \frac{32 \cdot M_{\text{flexion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2 + 4 \left(\frac{F_{\text{tranchant}}}{\text{Section}} + \frac{16 \cdot M_{\text{torsion}}}{\pi \cdot d_n^3}\right)^2} = 335 \cdot \text{MPa}$$

### Pression de contact

$$P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{tête\_rondelle}}} = 159 \cdot \text{MPa}$$

$$P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}} := \frac{F_{\text{axial}}}{\text{Surface\_contact}_{\text{rondelle\_corps}}} = 159 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Ratio}_{\text{contact}} := \max\left(\frac{P_{\text{Contact}_{\text{tête\_rondelle}}}}{R_{\text{p\_boulonnerie}}}, \frac{P_{\text{Contact}_{\text{rondelle\_corps}}}}{R_{\text{p\_corps}}}\right) = 88.9\%$$

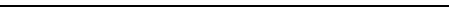
### C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$$\text{Critère}_{\text{moy}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 0 \wedge \sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 1 \wedge \sigma_{\text{eq.moy}} \leq 2 \cdot f \\ \text{"Non applicable"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 0 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

$$\text{Critère}_{\text{max}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if } \sigma_{\text{eq.max}} \leq 3 \cdot f \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

$$\text{Critère}_{\text{contact}} := \begin{cases} \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 0 \wedge \text{Ratio}_{\text{contact}} < 1 \\ \text{"Vérfié"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 0 \wedge \text{Ratio}_{\text{contact}} < 1 \\ \text{"Non applicable"} & \text{if Situation} = 1 \wedge \text{Cas} = 1 \\ \text{"Non vérifié"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Vérfié"}$$

Les boulons en **M16-A5** sont validés avec une pression d'assise de 2.7 MPa.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 77 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

### 8.3.2.2 Vis M10 [3]

La pression d'assise appliquée sur chaque joint est de 2.7 MPa conformément au document [1]. Un calcul analytique est mené afin de connaître les efforts appliqués sur chaque joint.

**Il est parti du postulat que les vis M10 passent à minima en M12-A5.**

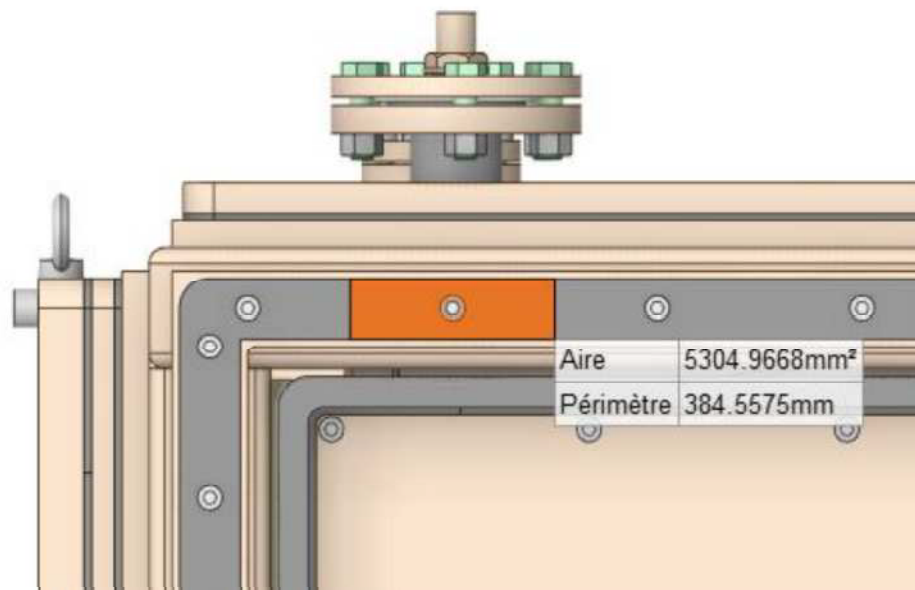


Figure 76 : Surface maximale pour pression d'assise M10

Chaque boulon est soumis au maximum à une pression de 2.7 MPa autour de lui agissant sur une surface de joint de 5305 mm. Cette zone est définie de manière géométrique en traçant des séparations équidistantes entre les vis. La zone la plus étendue est présentée dans l'image ci-dessus (5305 mm² pour un effort de 14 321 N).

Conformément au calcul mené en §8.3.1, l'effort maximal acceptable par des vis M12-A5 est de 12 522N.

**La pression d'assise n'est pas validée pour des M12 – A5.** Deux optimisations sont possibles :

- Passer en M16-A4,
- Changer pour un joint avec une pression d'assise inférieure.

#### Changement pression d'assise :

De manière analytique, on peut déterminer que la pression d'assise maximale doit être de 2.3 MPa.

$$\frac{12522}{5305} = 2.3 \text{ MPa}$$

Changement pour M16 A4:

$$C = \left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.18 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.18 \times 20}{2} \right] \times \frac{14321}{(1 - 0.1)} = 57443 \text{ N.mm}$$

$$F_{max} = \frac{57443 \times (1 + 0.1)}{\left[ \frac{2}{2\pi} + \frac{0.12 \times 14.701}{2 \cos(27.5)} + \frac{0.12 \times 20}{2} \right]} = 25147 \text{ N}$$

$$C_{Torsion} = 25147 \times (0.16 \times 2 + 0.557 \times 0.12 \times 14.701) = 33644 \text{ N.mm}$$

$F_{axial} := (25147\text{N})$

Effort axial

$F_{tranchant} := 0\text{N}$

Effort tranchant

$M_{flexion} := 0\text{N}\cdot\text{mm}$

Moment de flexion

$M_{torsion} := 33644\text{N}\cdot\text{mm}$

Moment de torsion

$d_n := 13.546\text{mm}$

Diamètre du noyau

$Section := 157\text{mm}^2$

Section résistante

$f := 120\text{MPa}$

Contrainte nominale de calcul de la boulonnerie dans la situation considérée

$Situation := 0$

0 : Situation normale de service  
1 : Situation exceptionnelle de service ou d'épreuve

$Cas := 0$

0 : En situation exceptionnelle, cas où aucune perte de serrage ne doit résulter de la survenue de la situation  
1 : En situation exceptionnelle, cas où une perte de serrage due à la survenue de la situation est acceptable

$R_{p\_boulonnerie} := 360\text{MPa}$

Limite conventionnelle d'élasticité de la boulonnerie à la température de calcul de la situation considérée

$R_{p\_corps} := 181\text{MPa}$

Limite conventionnelle d'élasticité du corps assemblé à la température de calcul de la situation considérée

$Surface\_contact_{tête\_rondelle} := 251\text{mm}^2$

Surface de contact entre la tête de vis et la rondelle

$Surface\_contact_{rondelle\_corps} := 251\text{mm}^2$

Surface de contact entre la rondelle et le corps assemblé

C10.1.A1.3.3 - Contraintes

$$\sigma_{eq,moy} := \sqrt{\left( \frac{F_{axial}}{Section} \right)^2 + 4 \left( \frac{F_{tranchant}}{Section} + 0.75 \frac{16 \cdot M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2} = 191\text{MPa}$$

$$\sigma_{eq,max} := \sqrt{\left( \frac{F_{axial}}{Section} + \frac{32 \cdot M_{flexion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2 + 4 \left( \frac{F_{tranchant}}{Section} + \frac{16 \cdot M_{torsion}}{\pi \cdot d_n^3} \right)^2} = 211\text{MPa}$$

Pression de contact

$$P_{Contact_{tête\_rondelle}} := \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{tête\_rondelle}} = 100\text{MPa}$$

$$P_{Contact_{rondelle\_corps}} := \frac{F_{axial}}{Surface\_contact_{rondelle\_corps}} = 100\text{MPa}$$

$$Ratio_{contact} := \max \left( \frac{P_{Contact_{tête\_rondelle}}}{R_{p\_boulonnerie}}, \frac{P_{Contact_{rondelle\_corps}}}{R_{p\_corps}} \right) = 55\%$$

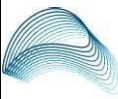
C10.1.A1.4 - Critères d'admissibilité des contraintes

$Critère_{moy} :=$  "Vérfié" if  $Situation = 0 \wedge \sigma_{eq,moy} \leq 2 \cdot f$  = "Vérfié"  
"Vérfié" if  $Situation = 1 \wedge Cas = 1 \wedge \sigma_{eq,moy} \leq 2 \cdot f$   
"Non applicable" if  $Situation = 1 \wedge Cas = 0$   
"Non vérifié" otherwise

$Critère_{max} :=$  "Vérfié" if  $\sigma_{eq,max} \leq 3 \cdot f$  = "Vérfié"  
"Non vérifié" otherwise

$Critère_{contact} :=$  "Vérfié" if  $Situation = 0 \wedge Ratio_{contact} < 1$  = "Vérfié"  
"Vérfié" if  $Situation = 1 \wedge Cas = 0 \wedge Ratio_{contact} < 1$   
"Non applicable" if  $Situation = 1 \wedge Cas = 1$   
"Non vérifié" otherwise

**Si les boulons M10-A4 passent en boulons M16-A4, alors la boulonnerie est validée.**

 <div><div>PARLYM</div><div>ENERGIES &amp; SYNERGIES</div><div>PARLYM ENGINEERING</div></div>	<div><div>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</div><div>Projet KoKoMo</div><div>Selon CODAP 2022 div 2</div><div>KOK.EA.0000.NC.21004-002</div></div>	Réf Client : 21014	
		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
		Indice : 00	Page : 79 / 88

### 8.3.3 Conclusion boulonnerie

Les vis M10-A4 ne sont ni validés en situation de service, ni en situation d'assise. Pour les situations de service il faut a minima passer en M12-A5. Cependant, comme indiqué dans le §8.3.1.1, certaines vis ne pourront être validée en M12-A5. Il est nécessaire de passer les vis de coins en M16-A5.

Pour la pression d'assises les vis M12-A5 présentent un dépassement. Deux solutions sont disponibles :

- Passer toutes les vis en M16-A4,
- Changer le joint pour avoir la pression d'assise de 2.3 MPa.

Pour les vis en M16-A4, la pression d'assise n'est pas validée. Deux solutions sont disponibles :

- Changer les vis M16-A4 en M16-A5
- Passer la pression d'assise en 2.1 MPa.

## 8.4 DIMENSIONNEMENT DES SOUDURES

Conformément au §5.4, le calcul des soudures liant les pièces présentées ci-dessous :

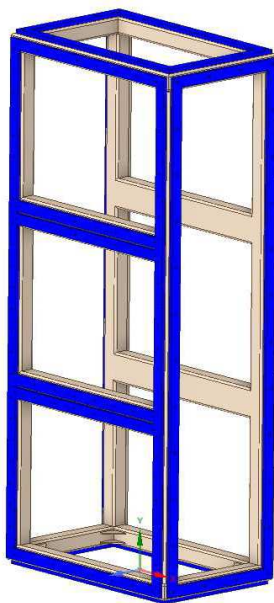


Figure 77 : Vérification soudure d'angles


Uniquement les cas dimensionnants pour le cas PP + Pression + effort extérieur et pour le cas PP + Pression + Thermique + effort extérieur sont présentés ci-dessous :

Cas	F <sub>x</sub> (N)	F <sub>y</sub> (N)	F <sub>z</sub> (N)	a (mm)	d (mm)	$\sigma_{VMsoudure}$ (MPa)	Contrainte admissible (MPa)	Taux de solicitation
PP + Pression + effort extérieur	351	1505	474	5	6.8	128	173.3	0.74
PP + Pression + Thermique + effort extérieur	1794	3389	1352	5	6	247	360	0.69

Tableau 35 : Justification de la tenue des soudures

Il est nécessaire de réaliser des soudures d'apothème 5 mm entre la pièce bleue et le châssis. Cette épaisseur de soudure n'est nécessaire qu'au niveau des blocs usinés. Elle peut être optimisée dans les dans zones éloignées des bloc usinés.



	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 81 / 88

## 9 FATIGUE

### 9.1 SOLLICITATION

Pour chaque cycle, on réalisera :

- 1 test d'étanchéité à 150 mbars et à température ambiante de 1h.
- 10 phases de surpression – pression atmosphérique à 150 mbarg pour chasser l'oxygène de l'enceinte à température ambiante.
- 1 essai avec injection de vapeur chaude. (à 150 mbars)

On effectue 10 000 cycles.

### 9.2 CRITERE DE FATIGUES

En premier lieu, le Chapitre §C11.1.3 du CODAP 2022 [5] propose une méthodologie permettant d'évaluer l'admissibilité de la variabilité des sollicitations exercées sur l'équipement (méthodologie d'exemption d'analyse à la fatigue).

Lorsque les exigences de ce Chapitre ne sont pas satisfaites il y a lieu d'appliquer les règles relatives à l'analyse de la résistance à la fatigue des Chapitres C11.2 (Analyse simplifiée) ou C11.3 (Analyse détaillée) du CODAP 2022 [5].

Afin d'effectuer un calcul de fatigue, il est nécessaire de connaître les classes de résistance à la fatigue d'un appareil en fonction du type de ses assemblages soudés. Celles-ci sont définies par le tableau C11.1.3.5b3 du CODAP 2022 [5].

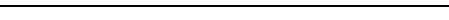
Les limites d'endurance et de troncature sont définies dans le tableau C11.1.3.5b2-2 du CODAP 2022 [5].

Eléments	Type de soudure	Classe de résistance à la fatigue	Limite d'endurance $\Delta\sigma_D$ (MPa)	Limite de troncature $\Delta\sigma_C$ (MPa)
Soudures longitudinales, du fond et des hublots	2	63	46.4	25.5
Soudures des brides et piquages	4			

#### 9.2.1 Méthodologie d'exemption d'analyse de la fatigue pour les plaques

Conformément aux règles énoncées dans le C11.1 du CODAP 2022, la règle d'évaluation n°2 est appliquée.

Le nombre total de cycle élémentaires de calcul appliqué au modèle est défini dans le §C11.A7 du CODAP 2022 [5].

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 82 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

La défaillance par fissuration par fatigue n'est pas à craindre en un point potentiellement critique d'un appareil si le nombre total pondéré de cycles élémentaires de contraintes qui s'y exercent vérifie la relation :

$$\sum_i n_i \times x_i \leq N_{adm}$$

$n_i$  : Nombre de cycles élémentaires de contraintes de même étendue  $(\Delta\sigma)_i$  et de même température moyenne  $(t_p^*)_i$  exercés au point considéré

$x_i$  : Coefficient de pondération associé à l'étendue de contrainte  $(\Delta\sigma)_i$ .

$$N_{adm} = 2 \times 10^6 \times \left[ C \times \frac{C_t \times C_e}{3f} \right]^3$$

Avec :

- Le coefficient de correction de température  $C_t$  est donné par la formule :  $C_t = \frac{E_t}{E_{20}}$

Dans laquelle  $E_{20}$  et  $E_t$  sont les modules d'élasticité du matériau respectivement à la température ambiante et à la température  $t$ , plus élevée des températures  $t_p^*$  et  $t^*$  (Voir calcul en §C11.1.3.3 du [5]) des différents cycles pris en compte dans le calcul de l'appareil. En première approche, la température considérée sera de 150°C

- Le coefficient de correction d'épaisseur  $C_e$  est donné par la relation :  $C_e = \min \left\{ 1; \left( \frac{25}{e} \right)^{0.25} \right\}$ , avec  $e$  l'épaisseur exprimée en mm. En première approche, on considère  $e$  comme la plus forte épaisseur utile des zones de l'appareil effectivement sollicitée en fatigue.

Les soudures sont de type 2 conformément au tableau C11.1.3.5b3 du CODAP 2022 [5]. Les soudures des brides et des piquages sont de type 4 selon le tableau C11.1.3.5b3 du CODAP 2022 [5]. La valeur est de  $C=63$  pour l'ensemble des soudures. Si le nombre de cycle  $N_{adm}$  n'est pas atteint, alors l'analyse à la fatigue ne sera pas nécessaire et sera dédouané par le présent paragraphe.

$$C_t = \frac{189}{200} = 0.945$$

Pour une plaque d'épaisseur  $\leq 25$  mm, alors le coefficient  $C_e = 1$  et par ce fait, le nombre de cycles élémentaires admissible est de :

$$N_{adm} = 2 \times 10^6 \times \left( \frac{63 \times 0.945 \times 1}{3 \times 120.7} \right)^3 = 8\,889 \text{ cycles élémentaires}$$

Pour les coins d'épaisseur 80 mm, le coefficient  $C_e$  et le nombre de cycles élémentaires admissible est donné par le nombre :

$$C_e = \min \left\{ 1; \left( \frac{25}{80} \right)^{0.25} \right\} = 0.747$$

$$N_{adm} = 2 \times 10^6 \times \left( \frac{63 \times 0.945 \times 0.747}{3 \times 120.7} \right)^3 = 3\,705 \text{ cycles élémentaires}$$

$$\sum_i n_i \times x_i \leq N_{adm}$$

Les valeurs du coefficient de pondération sont données par les valeurs :

Valeur du coefficient de pondération		
$(\Delta\sigma)_i \geq \Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_C < (\Delta\sigma)_i < \Delta\sigma_D$	$(\Delta\sigma)_i < \Delta\sigma_C$
$\left(\frac{(\Delta\sigma)_i}{3f}\right)^3$	$\left(\frac{(\Delta\sigma)_i}{3f}\right)^5 \times \left(\frac{3f}{\Delta\sigma_D}\right)^2$	0

Pour les piquages :

Il est supposé que les différents cycles ramènent des efforts de même signe. De ce fait, il est considéré que la variation de contraintes au niveau du piquage est égale à 120 MPa.

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{120}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{120}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{120}{3 \times 120.7}\right)^3 = 1717 \text{ Cycles.}$$

Le nombre de cycle est inférieur aux 8889 cycles admissibles. Les piquages sont validés en fatigue.

Pour les pièces forgées :

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{95}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{95}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{577}{3 \times 120.7}\right)^3 = 41133 \text{ Cycles}$$

**Les coins ne sont pas dédouanés car le nombre de cycle de 41133 est supérieur à celui admissible de 3705, un calcul en fatigue doit être mené.**

Pour le module vitrage :

Pour les modules vitrages, deux cas sont considérés :

- Cas avec contrainte max dans l'angle de la vitre, module à 20 °C

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{52}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{52}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{423}{3 \times 173.3}\right)^3 = 5496 \text{ Cycles}$$

- Cas avec contrainte max en bord de vis avec température du module à 150 °C

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{52}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{52}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{304}{3 \times 120.7}\right)^3 = 6028 \text{ Cycles}$$

Le nombre de cycle est inférieur aux 8889 cycles admissibles. Les modules vitrages sont validés en fatigue.

Pour les parois à injection :

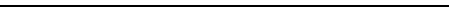
$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{84}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{84}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{336}{3 \times 120.7}\right)^3 = 8454 \text{ Cycles}$$

Le nombre de cycle est inférieur aux 8889 cycles admissibles. Les parois à injection sont validées en fatigue.

Pour les éléments modélisés en plaques :

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{63}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{63}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{335}{3 \times 120.7}\right)^3 = 8114 \text{ Cycles.}$$

Le nombre de cycle est inférieur aux 8889 cycles admissibles. Les plaques sont validées en fatigue.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 84 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

Pour les châssis poutre :

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{115}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{115}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{329}{3 \times 120.7}\right)^3 = 8691 \text{ Cycles}$$

Le nombre de cycle est inférieur aux 8889 cycles admissibles. Le module 'châssis poutre' est validé en fatigue.

Pour les autres éléments :

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{121}{3 \times 173.3}\right)^3 + 100000 \times \left(\frac{121}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{320}{3 \times 120.7}\right)^3 = 8289 \text{ Cycles}$$

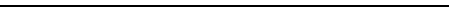
Le nombre de cycle est inférieur aux 8889 cycles admissibles. Les autres éléments de la structure sont validés.

Remarque : pour le modèle instrumentée la valeur de contrainte de pointe est de 590Mpa. Cependant c'est une zone proche vis en plaque simple, il n'y a pas de KT dans l'épaisseur (pas discontinuité géométrique dans l'épaisseur) la contrainte linéarisée de 212 MPa est considérée.

Pour la soudure d'angle :

$$\sum_i n_i \times x_i = 10000 \times \left(\frac{127}{3 \times 173.3}\right)^3 + 50000 \times \left(\frac{127}{3 \times 173.3}\right)^3 + 10000 \times \left(\frac{247}{3 \times 120.7}\right)^3 = 4049 \text{ Cycles}$$

Le nombre de cycle est inférieur aux 8889 cycles admissibles. Les soudures d'angles sont validées en fatigue.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b>		Réf Client : 21014	
	<b>Projet KoKoMo</b>		Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
	<b>Selon CODAP 2022 div 2</b>		Indice : 00	Page : 85 / 88
<b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>				

### 9.2.2 Calculs de fatigues coins massifs

Conformément à la figure C11.2.4.11.2, pour les zones sans soudures :

$$C_e = \min \left( 1; \left( \frac{25}{e} \right)^{0.18} \right) = \left( \frac{25}{80} \right)^{0.18} = 0.81$$

Conformément à la figure C11.1.3.3, pour les aciers austénitiques :

$$C_t = 1.043 - 4.3 \times 10^{-4} t^* = 1.043 - 4.3 \times 10^{-4} \times 150 = 0.9785$$

Cela permet de calculer le coefficient  $C_r$  conformément au §11.2.4.11.3

$$C_r = 0.81 * 0.9785 = 0.792$$

De plus, il est nécessaire de déterminer les coefficients A et B conformément au §11.2.4.9.3

$$A = 7.1389 \times R_m + 45430 = 7.1389 \times 520 + 45430 = 49142$$

$$B = 0.151 \times R_m + 95.64 = 174.16$$

Les limites d'endurance et de troncature, notées  $\Delta\sigma_D$  et  $\Delta\sigma_C$  sont calculés comme suit :

$$\Delta\sigma_D = \frac{A}{(2 \times 10^6)^{0.513}} + B$$

$$\Delta\sigma_D = \frac{49142}{(2 \times 10^6)^{0.513}} + 174.16 = 202 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_C = 0.02^{0.1} \times \Delta\sigma_D$$

$$\Delta\sigma_C = 137 \text{ MPa}$$

Détermination du nombre de cycle admissible par sollicitation :

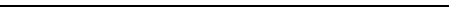
- 1 test d'étanchéité à 150 mbars et à température ambiante de 1h.
- 10 phases de surpression – pression atmosphérique à 150 mbarg pour chasser l'oxygène de l'enceinte à température ambiante.
- 1 essai avec injection de vapeur chaude. (à 150 mbars)

Pour le cas d'étanchéité, et les 10 phases de surpression – pression atmosphérique, on a :

$$\Delta\sigma < C_R \times \Delta\sigma_C$$

$$95 < 0.792 \times 137 = 108.7$$

**Conformément aux §C11.2.5.2, il n'y a pas de cycle à prendre en compte.**

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 86 / 88

Dans le cas thermique, les paramètres  $K_e$  et  $K_v$  sont applicables (C.11.3.11.1.2 du Codap [5]) car  $\Delta\sigma_{lin} > 2 \times R_{et}$  (366 MPa > 362 MPa) :

$$k_e = 1 + \left( A_0 + \frac{R_m - 500}{3000} \right) \times \left( \frac{\Delta\sigma_{lin}}{2R_{e,t*}} - 1 \right) = 1 + \left( 0.4 + \frac{520 - 500}{300} \right) \times \left( \frac{366}{2 \times 181} - 1 \right) = 1.01$$

$$k_v = \frac{1 - v}{0.5 + (0.5 - v)} \times \frac{2R_{et}}{\Delta\sigma_{lin}} = \frac{1 - 0.3}{0.5 + (0.5 - 0.3)} \times \frac{2 \times 181}{366} = 1.01$$

$$N_{adm} = \left( \frac{A}{\frac{\Delta\sigma \times k_v \times k_e}{C_r} - B} \right)^{\frac{1}{0.513}}$$

$$N_{adm} = \left( \frac{49142}{\frac{577 \times 1.01 \times 1.01}{0.792} - 174.16} \right)^{\frac{1}{0.513}} = 6140 \text{ cycles}$$

$$U = \frac{10\,000}{6140} = 1.63$$

### Les coins ne sont pas validés de fatigues.

Une optimisation proposée est de chauffer dans un premier temps le verre, et dans un second temps, la structure. Pour cela, il est préconisé de le mettre en chauffe 10 minutes avant l'injection de fluide. Cela donne les résultats suivants :

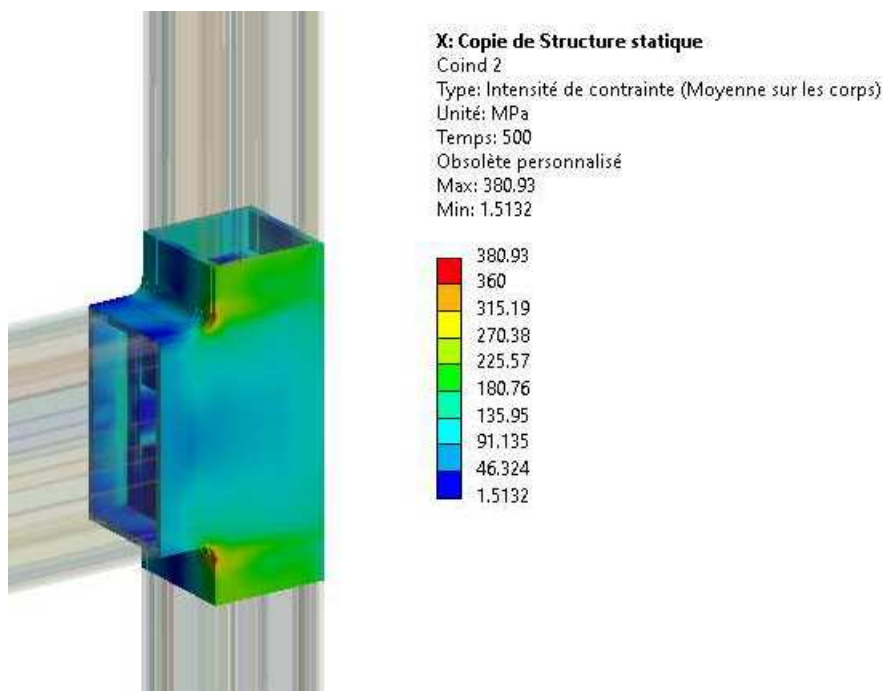
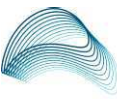


Figure 78 : Contrainte de Tresca dans le cas optimisé

Dans le cas thermique avec chauffe préalable des verres avant l'injection des gaz, les paramètres  $K_e$  et  $K_v$  sont applicables car  $\Delta\sigma_{lin} > 2 \times R_{et}$  (277 MPa > 362 MPa) .

La contrainte maximale de Tresca est de 380 MPa. En reprenant les calculs de fatigue ci-dessus, le nombre de cycles admissibles est de :



 <div><div>PARLYM</div><div>ENERGIES &amp; SYNERGIES</div><div>PARLYM ENGINEERING</div></div>	<div><div>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</div><div>Projet KoKoMo</div><div>Selon CODAP 2022 div 2</div><div>KOK.EA.0000.NC.21004-002</div></div>		Réf Client : <div>21014</div>	
			Réf Parlym : <div>PNG 230560 EQ NC 002</div>	
			Indice : <div>00</div>	Page : <div>87 / 88</div>


$$N_{adm} = \left( \frac{49142}{\frac{380}{0.792} - 174.16} \right)^{\frac{1}{0.513}} = 19\,984 \text{ cycles}$$

$$U = \frac{10\,000}{19\,984} = 0.5$$

**Dans le cas de cette optimisation, les coins sont validés de fatigues.**

### **9.2.3 Méthodologie d'exemption d'analyse de la fatigue pour les boulons**

L'analyse de la résistance à la fatigue de la boulonnerie n'est pas applicable car, par conception, les boulons précontraints ne sont pas soumis à la fatigue.

	<b>NOTE DE PREDIMENSIONNEMENT</b> <b>Projet KoKoMo</b> <b>Selon CODAP 2022 div 2</b> <b>KOK.EA.0000.NC.21004-002</b>		Réf Client : 21014	
			Réf Parlym : PNG 230560 EQ NC 002	
			Indice : 00	Page : 88 / 88

## 10 CONCLUSION

L'objet de l'étude était de réaliser le prédimensionnement de la structure KoKoMo afin de permettre à l'IRSN de valider sa phase d'Avant-Projet Spécifique. Cependant, les calculs menés dans la présente note ne permettent pas cette validation. En effet, les boulonneries M10 ne sont pas validées en statique ainsi qu'en situation d'assise, les boulonneries M16 ne sont pas validés en situation d'assise et les coins renforcés ne sont pas validés en fatigue.

En l'état actuel, voici les résultats sur la structure :

Modèle	Ratio Maximal
PP + Efforts extérieurs	0.73
PP + Pression + Efforts extérieurs	0.73
PP + Pression + Efforts extérieurs + cas thermique 6	<b>1.02</b>
PP + Pression + Efforts extérieurs + cas thermique 7	0.94

Dans le cas d'étude le plus critique, la structure atteindra le régime stationnaire après 87 187s.

**La valeur de 1.02 ne permet pas de valider la tenue mécanique des coins dans le cas « PP + Pression + Efforts extérieurs + cas thermique 6 ». L'optimisation permettant de les valider est de commencer la chauffe des verres 10 minutes avant celles des gaz.**

Les préconisations suivantes permettent de valider l'ensemble des éléments :

- Début de la chauffe des verres 10 minutes avant l'introduction des gaz,
- Apothème entre les modules composants le châssis de 5 mm,
- Les efforts issus de la [4] sont trop important pour valider les piquages. Les efforts maximaux admissibles aux piquages, déterminés par le calcul, sont de :

Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Mx (N.m)	My (N.m)	Mz (N.m)
120	120	120	35	35	35

Tableau 36 : efforts admissibles

Concernant les boulonneries :

Les vis M10-A4 ne sont ni validés en situation de service, ni en situation d'assise. Pour les situations de service il faut a minima passer en M12-A5. Cependant, comme indiqué dans le §8.3.1.1, certaines vis ne pourront être validée en M12-A5. Il est nécessaire de passer les vis des coins en M16-A5.

Pour la pression d'assises les vis M12-A5 présentent un dépassement. Deux solutions sont disponibles :

- Passer toutes les vis en M16-A4,
- Changer le joint pour avoir la pression d'assise de 2.3 MPa.

Pour les vis en M16-A4, la pression d'assise n'est pas validée. Deux solutions sont disponibles :

- Changer les vis M16-A4 en M16-A5
- Passer la pression d'assise en 2.1 MPa.