

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Saad Dahleb Blida 1
Faculté de Technologie
Département De Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de:

Master

**Prise en compte de la soudure dans la
conception d'une enceinte pour rotor**

Réalisé par :

Mr. KHEDIM Noureddine

Suivi par :

Pr. FERDJANI Hichème

Année universitaire 2018/2019

Remerciement

Je remercie mon encadreur, le professeur FERDJANI Hichème qui m'a proposé ce thème de Master et aussi de ses précieuses orientations.

Je remercie aussi Monsieur LEROUL Alaa Eddine, Madame BAROUCHE Nabila et Monsieur REFIS Choayb qui m'ont aidé pour effectuer une grande partie de mon travail.

Je remercie finalement la direction et tous les enseignants du département de génie mécanique.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes parents en témoignage de tout mon amour.

A toute ma famille.

A tous mes collègues et amis.

المخلص

تهدف هذه المذكرة إلى إدخال اللحام في بنية حاوية الدوار تمت دراستها في مذكرة سابقة. تم تطبيق اللحام في المناطق الحرجة بالجزء السفلي من الحاوية.

باستخدام برنامج ANSYS و SOLIDWORKS يتم إجراء النمذجة وحسابات مقاومة طبقات اللحام لحالتين

1. حاوية الدوار موضوعة على الأرض.
2. حاوية الدوار مرفوعة بواسطة رافعة شوكية.

Résumé

Ce mémoire est pour but d'introduire le soudage dans la structure d'une enceinte pour rotor étudiée dans une mémoire précédente. Les cordons de soudure sont faits au niveau des zones critiques de la partie basse de l'enceinte.

La modélisation et les calculs de résistance des cordons de soudures sont effectuées à l'aide des logiciels SOLIDWORKS et ANSYS pour deux cas :

1. Enceinte posée sur le sol.
2. Enceinte soulevée par un chariot élévateur.

Summary

This memory is intended to introduce welding into the structure of a rotor enclosure studied in a previous memory. The weld seams are made at the critical areas of the lower part of the enclosure.

The modeling and the calculations of resistance of the weld seams are carried out using the software SOLIDWORKS and ANSYS for two cases:

1. Enclosure placed on the floor.
2. Enclosure raised by a forklift.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I Généralités sur le soudage	2
Introduction.....	3
I.1 Définition de soudage	3
I.2 Procédés de soudage.....	4
I.3 Soudage avec électrodes enrobées.....	5
I.4 Types d'électrodes.....	5
I.5 Défauts de soudage.....	6
I.6 Cordons de soudure	6
Chapitre II La modélisation des cordons de soudures de la conception géométrique de l'enceinte à l'aide de logiciel SOLIDWORKS	7
Introduction.....	8
II.1 Rotor de la turbine à gaz MS5002C.....	8
II.2 Enceinte	10
A. Caractéristiques de la conception.....	11
B. Matériau utilisé	11
II.3 Insuffisances de la conception précédente.....	12
II.4 Conception actuelle de la partie basse	14
Chapitre III Rappels théoriques	17
Introduction.....	18
III.1 Déformations élastique et plastique.....	18
III.2 Courbe Contrainte - Déformation	18
III.3 Contraintes	20
III.4 Critère de plasticité	20
Chapitre IV Importation de la structure de SOLIDWORKS à l'ANSYS avec les cordons de soudure	21

Introduction.....	22
IV.1 Données matériaux.....	22
IV.2 Géométrie	24
IV.3 Système de coordonnées	26
IV.4 Maillage.....	26
IV.4.1 Structure sans soudure	26
IV.4.2 Structure avec soudure	27
Chapitre V Modélisation des cordons de soudures de la structure à l'aide du logiciel ANSYS.....	29
Introduction.....	30
V.1 Modèle et configuration	30
V.1.1 Conditions aux limites en déplacement.....	30
V.1.2 Charges.....	31
V.2 Solutions et résultats.....	32
V.2.1 Première cas Enceinte posée sur le sol.....	32
V.2.2 Deuxième cas Enceinte élevée par un chariot élévateur.....	36
V.3 Récapitulation des résultats et vérification de la résistance	38
Conclusion générale	40
Références	41

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le soudage

Figure 01 : Différents procédés d'assemblage.....	03
Figure 02 : les zones de la soudure.....	03
Figure 03 : Procédés de soudage.	05
Figure 04 : L'électrode enrobée.	05
Figure 05 : Types de cordon de soudure.	06

Chapitre II : La modélisation des cordons de soudures de la conception géométrique de l'enceinte à l'aide de logiciel SOLIDWORKS

Figure 06 : Rotor de la turbine à gaz MS5002C.	08
Figure 07 : Vue de face du Rotor.	09
Figure 08 : Enceinte pour Rotor (partie basse).	10
Figure 09 : Schémas de l'enceinte.	10
Figure 10 : Parties haute et basse de l'enceinte avec tableau de nomenclature.	12
Figure 11 : A- Absence de fonctionnalité mécano-soudée, B- Utilisation de la fonctionnalité de mécano-soudée.	13
Figure 12 : A- Absence de fonctionnalité Gousset(2) de tôlerie, B- Utilisation de la fonctionnalité de Gousset de tôlerie.	13
Figure 13 : Cordons de soudure au niveau des anneaux de levage.	14
Figure 14 : A- Cordons de soudure entre le palier droit et le pied intérieur droit, B- Cordons de soudure entre le palier gauche et le pied intérieur gauche.	15
Figure 15 : Cordons de soudure entre les pieds intérieurs et la coque cylindrique de la partie basse.	15
Figure 16 : Cordons de soudure entre la structure des pieds extérieurs.	15
Figure 17 : Cordons de soudure entre la structure des pieds extérieurs et la coque cylindrique de la partie basse.	16

Chapitre III : Rappels théoriques

Figure 18 : Application d'une force et déformation (a), déformation élastique (b) et déformation plastique (c).	18
Figure 19 : Eprouvette pour l'essai de traction simple.	19

Figure 20 : Allure typique de la courbe expérimentale $\sigma = f(\epsilon)$	19
Figure 21 : Contraintes d'extension (de traction).	20

Chapitre IV : Importation de la structure de SOLIDWORKS à l'ANSYS avec les cordons de soudure

Figure 22 : Interface d'ANSYS WorkBench.	22
Figure 23 : Introduire les données matériau d'Acier S235JR (Cités dans chapitre II).	23
Figure 24 : Introduire les données matériau d'Acier ER705-3.	23
Figure 25: Importation de la structure de SOLIDWORKS au Design Modeler d'ANSYS....	24
Figure 26 : Accéder à la case Modèle.	25
Figure 27 : Sélection des cordons de soudure dans la case géométrie.	25
Figure 28 : Changement du matériau de cordon de soudure dans la case Affectation.	25
Figure 29 : Système de coordonnées pour la structure.	26
Figure 30 : Structure maillée (sans soudure).	26
Figure 31 : Structure maillée (Maillage surfacique du modèle en 3D).	27
Figure 32 : Raffinement au niveau des cordons de soudure.	27
Figure 33 : Raffinement au niveau des cordons de soudure du palier.	28
Figure 34 : Raffinement au niveau du cordon de soudure du pied.	28

Chapitre V : Modélisation des cordons de soudures de la structure à l'aide du logiciel ANSYS

Figure 35 : Les supports fixes (cas enceinte rotor posée sur le sol).	31
Figure 36 : Les supports fixes (cas enceinte rotor élevée par un chariot élévateur).	31
Figure 37 : Les charges aux niveaux des paliers A et B.	32
Figure 38 : Charge de type « Charge de cylindre ».	32
Figure 39 : Distribution des contraintes du calcul 01 en MPa.....	33
Figure 40 : Distribution des contraintes du calcul 01 en MPa (Sans prise en compte des cordons de soudure).	33
Figure 41 : Distribution des contraintes du calcul 01 en MPa (Avec les cordons de soudure).....	34
Figure 42 : Distribution des contraintes an niveau des cordons de soudure des pieds en MPa.	34

Figure 43 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du support de palier A en MPa.....	35
Figure 44 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du support de palier B en MPa.	35
Figure 45 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du palier A en MPa.	35
Figure 46 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du palier B en MPa.	36
Figure 47 : Distribution des contraintes du calcul 02 en MPa (Sans prise en compte des cordons de soudure).....	36
Figure 48 : Distribution des contraintes du calcul 02 en MPa (Sans prise en compte des cordons de soudure).	37
Figure 49 : Distribution des contraintes du calcul 02 en MPa (Avec les cordons de soudure).	37

Liste des tableaux

Tableau 01 : Dimensions et profilé de l' IPE 220.....	11
Tableau 02 : Dimensions et profilé de l'UAP 300.....	11
Tableau 03 : Dimensions et profilé de l'UAP 250.....	11
Tableau 04 : Dimensions et profilé de l'UAP 220.....	11
Tableau 05 : Compositions chimiques de l'acier S235JR.....	12
Tableau 06 : Nombre total d'éléments et des nœuds.....	26
Tableau 07 : Nombre total d'éléments et des nœuds.....	27
Tableau 08 : Nombre total d'éléments et des nœuds après raffinement au niveau des cordons de soudure.....	28
Tableau 09 : Récapitulation des résultats.....	38

Introduction générale

Introduction générale

La turbine à gaz est l'un des moyens de production de puissance les plus utilisés dans le domaine de l'industrie. Les différents travaux de maintenance consistent à transporter quelques parties de la turbine vers l'atelier, et plus précisément le rotor.

L'objectif de ce travail est d'introduire le soudage dans la structure d'une enceinte pour le transport d'un rotor qui a été étudiée, sans prise en compte des cordons de soudures, dans le mémoire de Mr. LEROUL Alaa Eddine et Mr. ZERROUK Islem.

Les cordons de soudure seront ajoutés à la conception utilisée dans le mémoire précédent Pour renforcer la structure.

La modélisation des cordons de soudures sera avec le logiciel SolidWorks.

Afin de vérifier la résistance, on va utiliser le logiciel ANSYS dans deux cas de chargement :

- Enceinte posée sur le sol.
- Enceinte soulevé par un chariot élévateur.

Le mémoire se divise en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une généralité sur le soudage.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des données initiales et la modélisation des cordons de soudures de la conception géométrique de l'enceinte à l'aide de logiciel SOLIDWORKS.
- Le troisième chapitre est la modélisation avec ANSYS.

Chapitre I

Généralités sur le soudage

Introduction

Parmi les procédés d'assemblages, le soudage occupe une place importante car il permet d'adapter au mieux les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service.

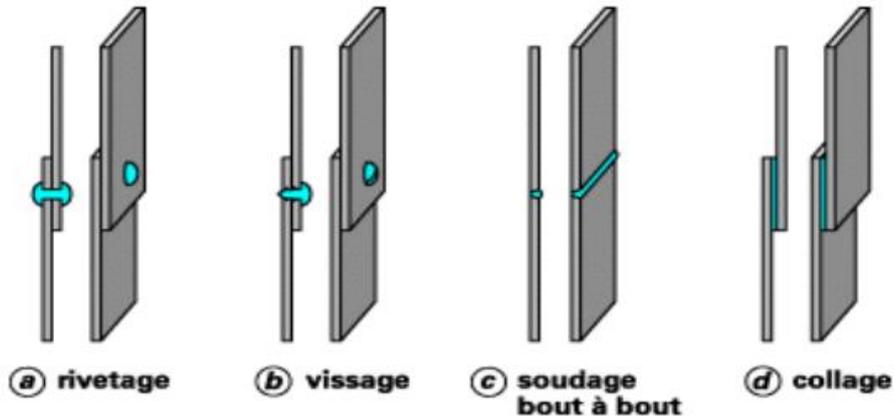


Figure 01 : Différents procédés d'assemblage. [01]

I.1 Définition de soudage

Le soudage est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler, soit par chauffage, soit par intervention de pression, soit par l'un et l'autre, avec ou sans métal d'apport dont la température de fusion est de même ordre de grandeur que celle du matériau de base.

La soudure se décompose en plusieurs zones illustrées dans la figure suivante.

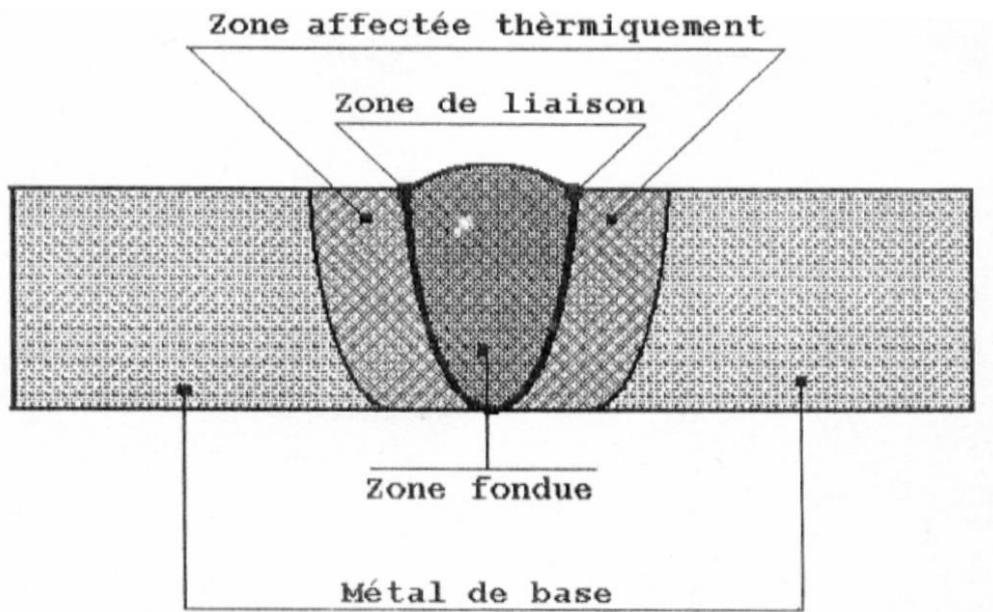


Figure 02 : les zones de la soudure.

- Métal de base (MB) : Le métal de base, est la partie l'assemblage qui ne subit aucune action thermique.
- Zone affectée thermiquement (ZAT) : La zone affectée thermiquement est la zone où la température est comprise entre le solidus et une température plus basse mais suffisamment élevée pour permettre des réactions ou des transformations à l'état solide et pour modifier la structure du métal de base.
- Zone de liaison (ZL) : Cette zone correspond à la limite jusqu'à laquelle le métal de base est porté à la fusion.
- Zone fondue (ZF) : Elle est obtenue par la fusion du métal de base avec la participation d'un métal d'apport suivi d'une solidification.

I.2 Procédés de soudage

La classification des procédés de soudage de pièces métalliques se fait en considérant certaines caractéristiques telles que le type d'énergie mise en œuvre, les paramètres physiques (température, pression, milieu extérieur) et le mode d'élaboration de la continuité de la matière (solidification depuis le liquide ou diffusion depuis le solide).

Parmi les procédés de soudage de pièces métalliques, on peut citer :

- Soudage à la flamme.
- Soudage électrique par résistance.
- Soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées.
- Soudage à l'arc avec fil électrodes fusibles ou soudage semi-automatique.
- Soudage laser.
- Soudage plasma.
- Soudage par friction.
- Soudage à l'arc sous flux.
- Soudage électro gaz.
- Soudage par diffusion.

Les procédés de soudage des aciers s'effectuent soit par soudage par pression, sans métal d'apport, pour obtenir une déformation plastique des zones à souder, soit par soudage par fusion local du métal.

Le principal procédé de soudage par fusion est le soudage à l'arc électrique à travers une décharge électrique de longue durée qui se produit dans un mélange de gaz et de vapeurs ionisé entre deux électrodes. L'effet thermique provoque la fusion de l'électrode et du métal de base.

Les procédés de soudage qui utilisent l'arc électrique comme source de fusion sont :

- Le soudage avec électrode enrobées ;
- Le soudage avec électrode réfractaire TIG ;
- Le soudage semi-automatique sous protection gazeuse : MIG ou MAG ;
- Le soudage automatique sous flux.

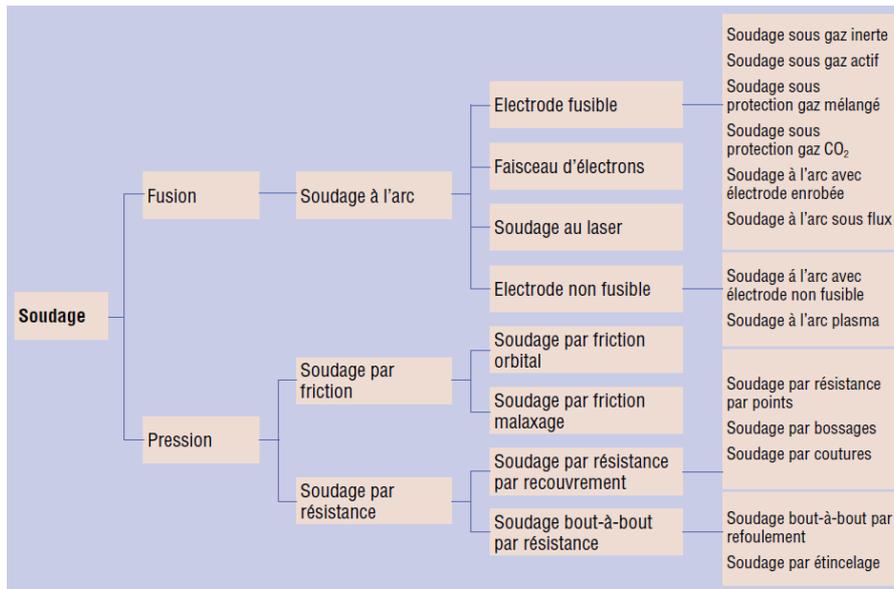


Figure 03 : Procédés de soudage. [02]

I.3 Soudage avec électrodes enrobées

Un arc électrique établi entre une électrode et les bords des pièces à assembler, provoque leur fusion et crée un bain de métal liquide reçoit les gouttes de métal de l'électrode. L'arc résulte du passage d'un courant électrique intense à travers une atmosphère de gaz ou de vapeur.

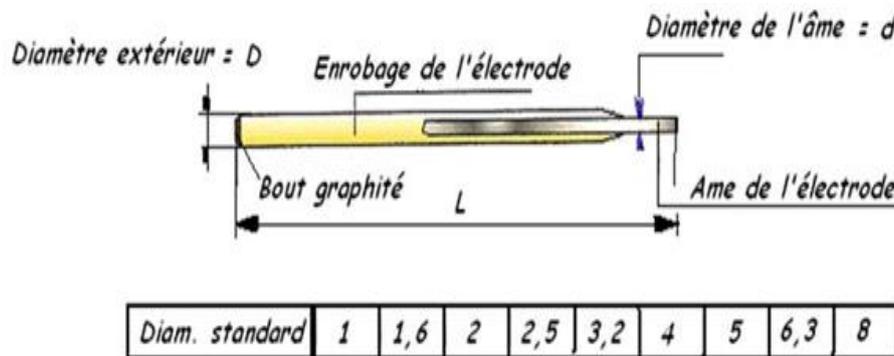


Figure 04 : L'électrode enrobée.

Les électrodes de soudages sont constituées par :

- Une âme métallique dont le rôle est de conduire le courant et dont fusion forme le métal déposé.
- Un enrobage concentrique à l'âme.

I.4 Types d'électrodes

Les électrodes se définissent par le diamètre de l'âme et la nature chimique de l'enrobage.

Les diamètres normalisés sont : (1,25-1,6-3,15-4-5-6)mm.

Les enrobages les plus utilisés sont :

- L'enrobage cellulosique.
- L'enrobage basique.
- L'enrobage rutile.

I.5 Défauts de soudage

Il existe plusieurs types de défauts de soudure, on cite les plus courants en fonction du métal travaillé ou du procédé de soudage utilisé :

- Les fissures,
- Les soufflures,
- La pollution ferreuse,
- Les inclusions,
- Les retassures et criques de solidification.

I.6 Cordons de soudure

La modélisation des cordons de soudure jouent un rôle très important dans la conception. Les charges dans une conception en acier soudé sont transférées d'un membre à un autre par des soudures placées dans des joints de soudure (cordons de soudure).

Il est donc important pour un concepteur de savoir quels types de cordons et quel type de soudure. La Figure (05) montre les différents types de cordon de soudure.

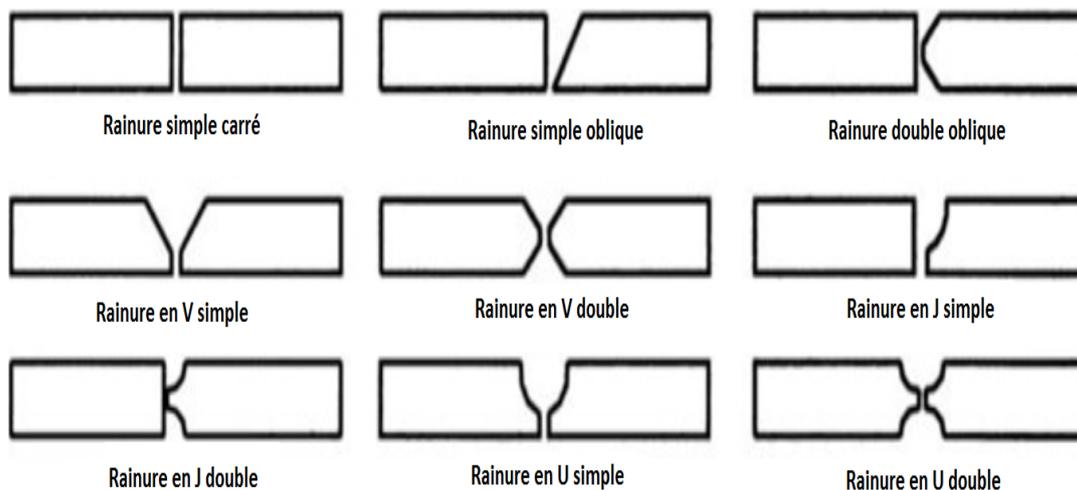


Figure 05 : Types de cordon de soudure.

Chapitre II

La modélisation des cordons de soudures de la conception géométrique de l'enceinte à l'aide de logiciel SOLIDWORKS

Introduction

Dans ce chapitre on va présenter le Rotor de la turbine à gaz et son enceinte ayant conçu dans le mémoire « Conception et calcul d'une enceinte rotor », les insuffisances de la conception précédente et les cordons de soudure au niveau des zones critiques de la conception à l'aide du logiciel SolidWorks.

II.1 Rotor de la turbine à gaz MS5002C

Le rotor de la turbine à gaz MS5002C étudié dans le mémoire précédent est montré dans les figures suivantes :



Figure 06 : Rotor de la turbine à gaz MS5002C. [03]

II.2 Enceinte

L'enceinte est constituée de deux parties, la partie haute constitue la couverture du support et la partie basse supporte le poids du rotor.



Figure 08 : Enceinte pour Rotor (partie basse). [03]

L'enceinte est de forme cylindrique de rayon (910mm) et de longueur (4240mm). Toutes les tôles utilisées dans la conception de l'enceinte ont une épaisseur de 10mm. (Figure 09).

Le positionnement des paliers et pieds extérieurs (support avec six pieds extérieurs) de l'enceinte permet la bonne répartition du poids du rotor sur la structure et donne plus de sécurité et résistance à l'enceinte.

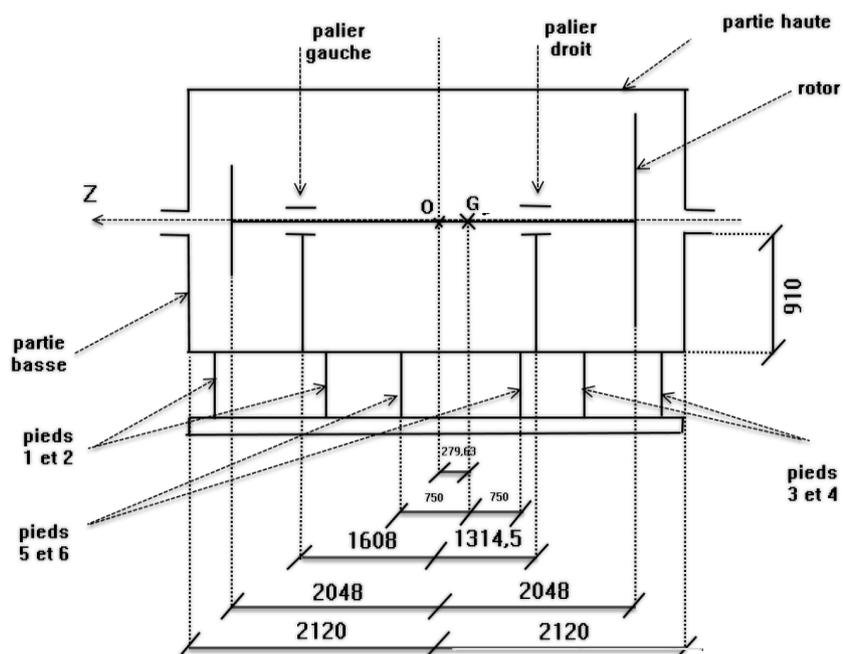


Figure 09 : Schémas de l'enceinte. [03]

A. Caractéristiques de la conception

Masse de l'enceinte : $M_a = 3486.933$ kg

Pieds intérieurs :

- IPE 220
- UAP 300
- UAP 250
- UAP 220

Profilé	Poids (kg/m)	h (mm)	b mm	tw mm	tf mm	r mm
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	17

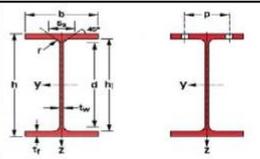


Tableau 01 : Dimensions et profilé de l'IPE 220.

Profilé	Poids (kg/m)	H (mm)	b mm	tw mm	tf mm	r mm
UAP 300	46	300	100	9,5	16	16

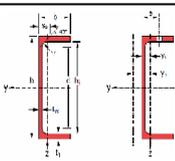


Tableau 02 : Dimensions et profilé de l'UAP 300.

Profile	Poids (kg/m)	H (mm)	b mm	tw mm	tf mm	r mm
UAP 250	34,4	250	85	9	13,5	13,5

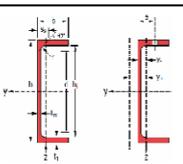


Tableau 03 : Dimensions et profilé de l'UAP 250.

Profile	Poids (kg/m)	H (mm)	b mm	tw mm	tf mm	r mm
UAP 220	28,5	220	60	8	12,5	12,5

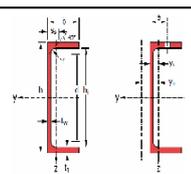


Tableau 04 : Dimensions et profilé de l'UAP 220.

B. Matériau utilisé

La soudabilité caractérise la capacité d'un matériau à admettre une soudure sans devenir fragile. L'acier S235JR⁽¹⁾ (équivalent à A37) est choisi comme un matériau pour la conception.

(1) S235JR est un acier non allié pour emplois structuraux.

Les caractéristiques de l'acier S235JR sont :

1. Propriétés mécanique :

- Résistance à la traction $R_m = 350$ à 510 MPa (Epaisseur nominale jusqu'à 3 mm).
- Limite d'élasticité minimale $R_e = 235$ MPa (Epaisseur nominale jusqu'à 16 mm).
- Densité = 7800 kg/m³.
- Point de fusion = 1370 à 1400 °C.
- Module de YOUNG = $2,1 \cdot 10^5$ MPa.
- Coefficient de Poisson = $0,3$.

2. Composition chimique :

C	Mn	P	S	N	Cu	CEV
Max 0.2	Max 1.4	Max 0.04	Max 0.04	Max 0.012	Max 0.55	Max 0.38

Tableau 05 : Compositions chimiques de l'acier S235JR.

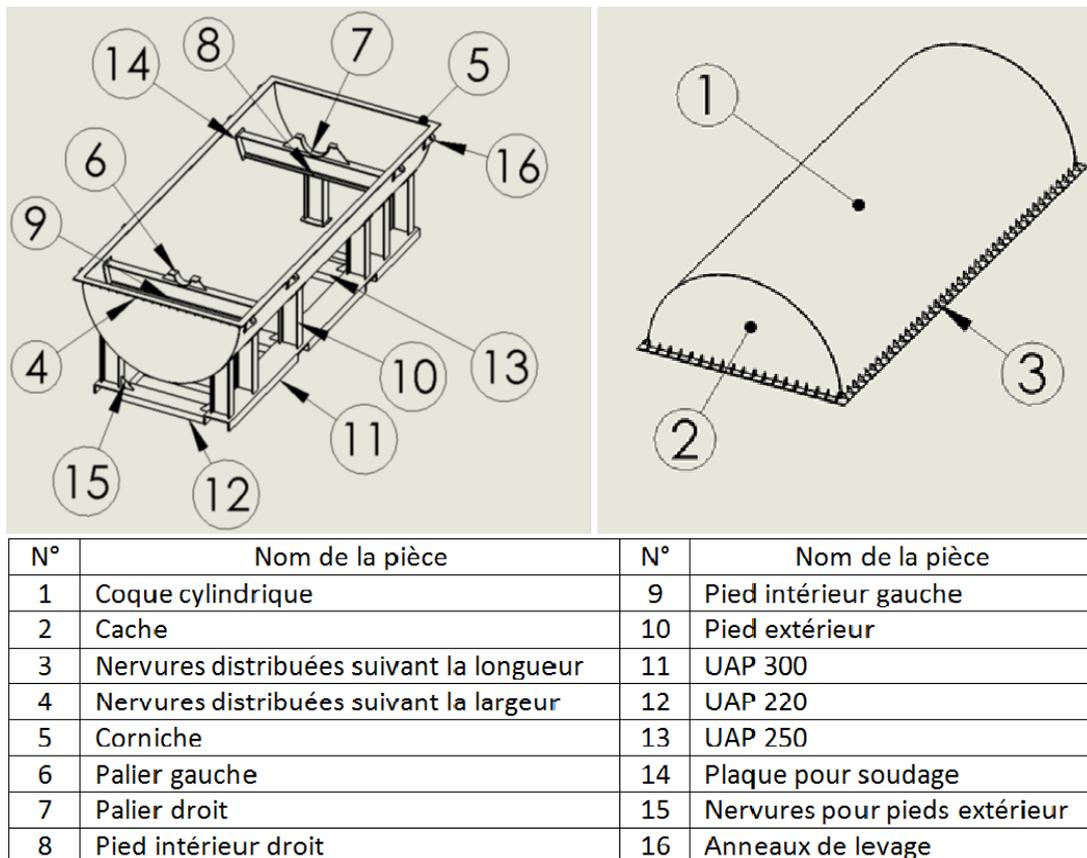


Figure 10 : Parties haute et basse de l'enceinte avec tableau de nomenclature. [03]

II.3 Insuffisances de la conception précédente

Les calculs effectués dans la conception du mémoire précédent ne sont pas exactes à cause de non prise en compte des cordons de soudures dans la conception et surtout dans la partie basse qui est exposée au poids du rotor.

Principales insuffisances de la conception précédente :

- Absence des cordons de soudure.
- Non utilisation de la fonctionnalité mécano-soudés⁽²⁾ du SolidWorks.
- Non utilisation de la fonctionnalité tôlerie du SolidWorks dans quelques pièces.

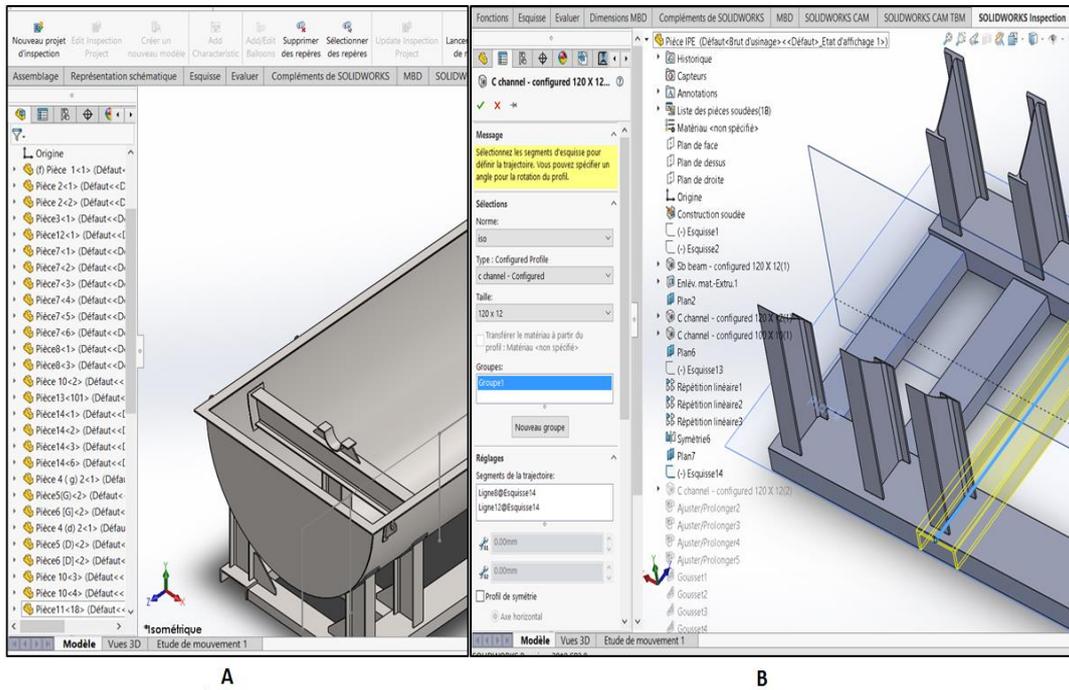


Figure 11 : A- Absence de fonctionnalité mécano-soudée, B- Utilisation de la fonctionnalité de mécano-soudée.

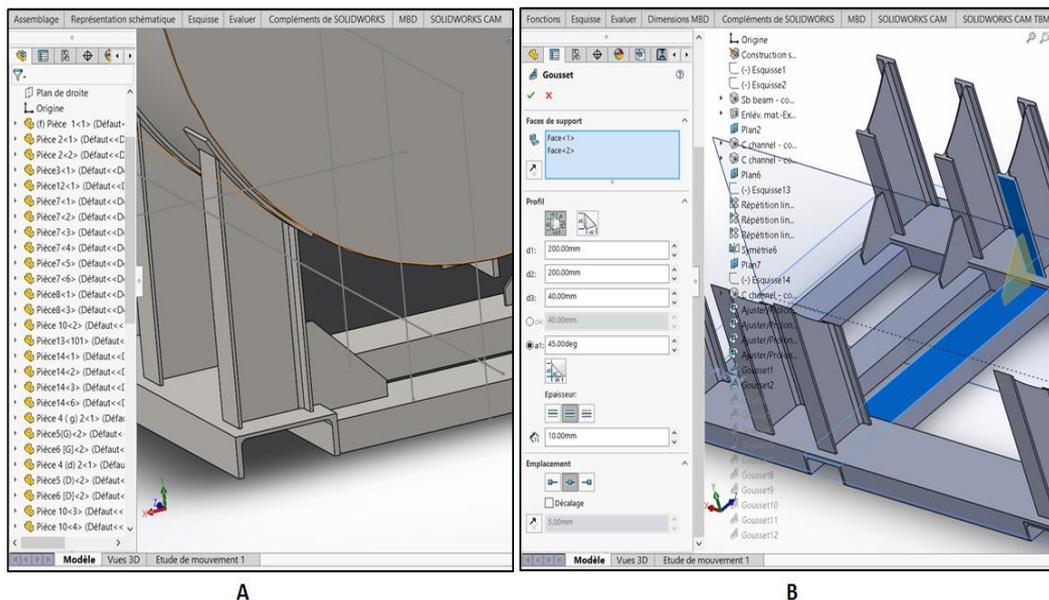


Figure 12 : A- Absence de fonctionnalité Goussier⁽³⁾ de tôlerie, B- Utilisation de la fonctionnalité de Goussier de tôlerie.

(2) La fonctionnalité mécano-soudés permet de concevoir une construction soudée en tant qu'une seule pièce à corps multiple.

(3) La fonctionnalité Goussier de tôlerie permet de créer des nervures de renfort.

II.4 Conception actuelle de la partie basse

Dans cette conception on a utilisé la fonctionnalité du mécano-soudure qui permette de concevoir une construction soudée en tant qu'une pièce à corps multiple, ainsi que la fonctionnalité tôlerie du logiciel SolidWorks qui vont permettre de présenter les cordons de soudure. Le type de cordon de soudure en V simple est choisi dans ce travail (la figure 05).

La structure contient plusieurs pièces qui doivent être assemblées par le soudage. On ne peut pas faire les calculs des cordons de soudure sur toutes la structure (partie haute, partie basse, nervures...), donc pour faciliter le travail et concentrer sur les zones critiques on va prendre uniquement la partie basse de l'enceinte.

Les cordons de soudure sont appliqués dans les zones critiques suivant :

- Au niveau des anneaux de levage.
- Entre le palier gauche et le pied intérieur gauche.
- Entre le palier droit et le pied intérieur droit.
- Entre le pied intérieur gauche et la coque cylindrique de la partie basse.
- Entre le pied intérieur droit et la coque cylindrique de la partie basse.
- Entre la structure des pieds extérieurs.
- Entre la structure des pieds extérieurs et la coque cylindrique de la partie basse.

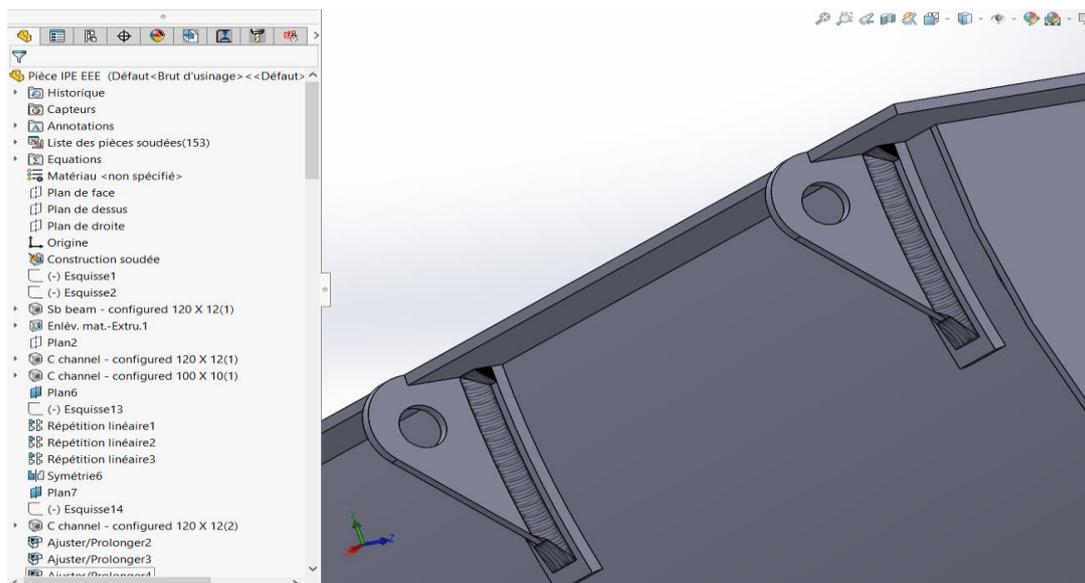


Figure 13 : Cordons de soudure au niveau des anneaux de levage.

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

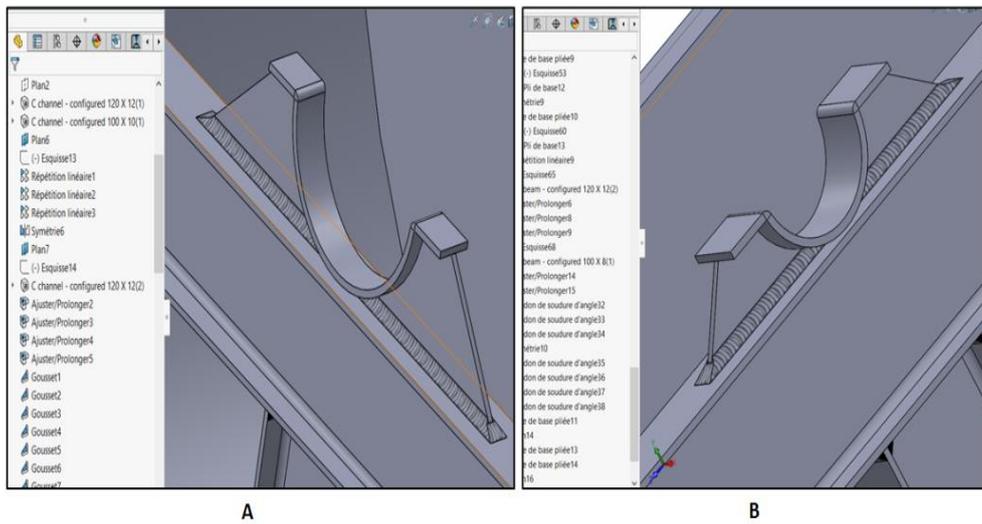


Figure 14 : A- Cordons de soudure entre le palier droit et le pied intérieur droit, B- Cordons de soudure entre le palier gauche et le pied intérieur gauche.

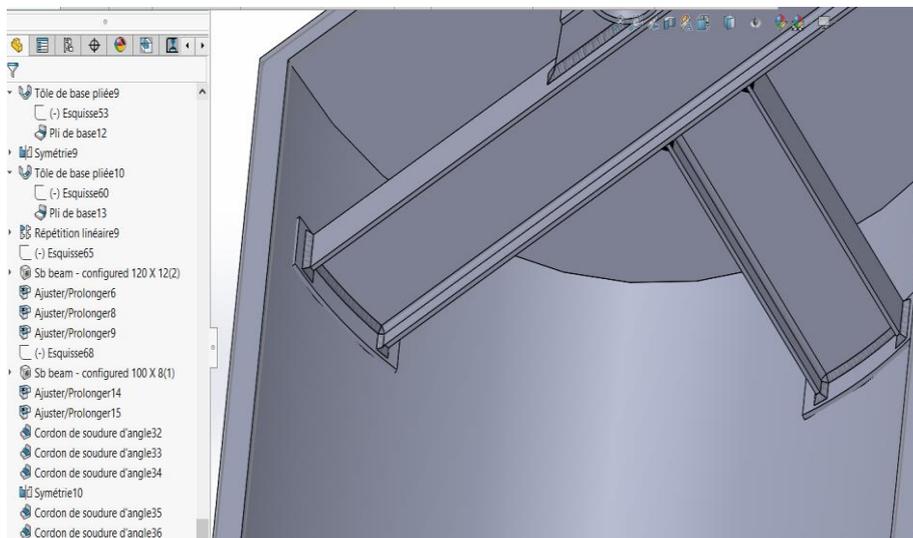


Figure 15 : Cordons de soudure entre les pieds intérieurs et la coque cylindrique de la partie basse.

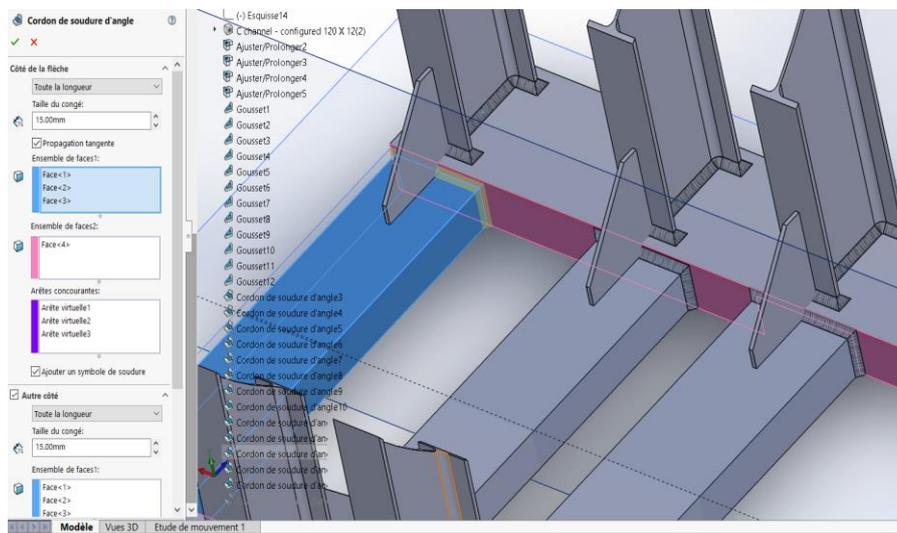


Figure 16 : Cordons de soudure entre la structure des pieds extérieurs.

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

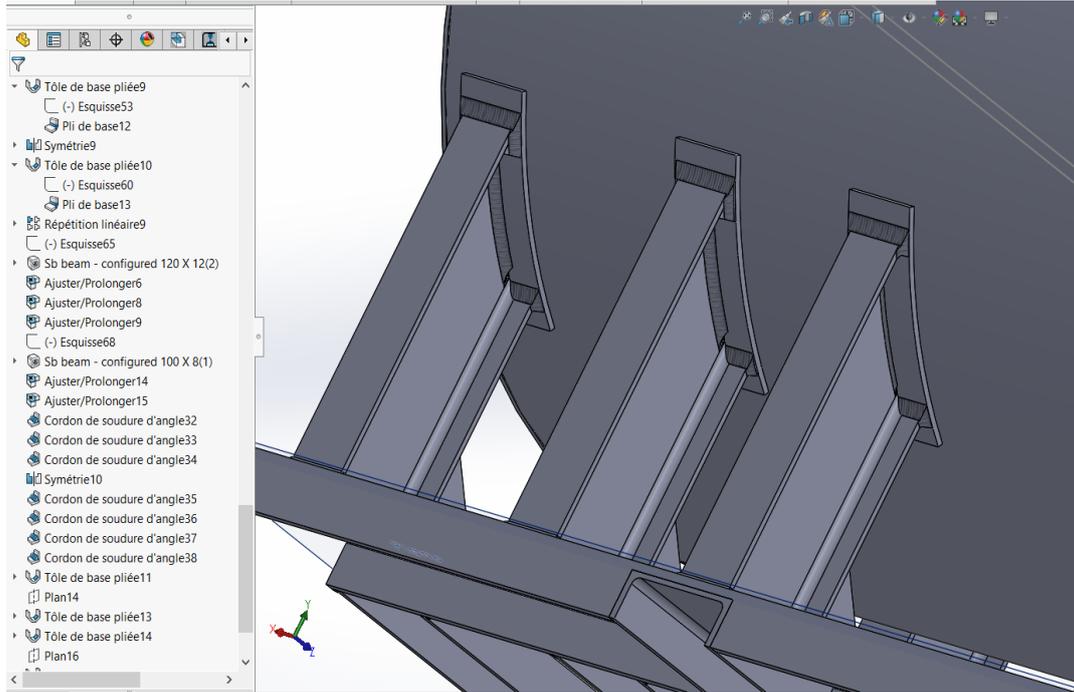


Figure 17 : Cordons de soudure entre la structure des pieds extérieurs et la coque cylindrique de la partie basse.

Chapitre III

Rappels théoriques

Introduction

Les matériaux de construction subissent en tout premier lieu les effets du poids qu'ils supportent et en particulier de leur propre poids ainsi ils sont exposés aux différents types de sollicitations qui mènent au phénomène de déformation, tel que :

- Tractions et compression
- Cisaillement
- Torsion
- Flexion

III.1 Déformations élastique et plastique

Sous l'effet d'une force extérieure, les matériaux se déforment en deux régimes de déformation particuliers :

1. Le régime de déformation est élastique lorsqu'après sollicitation le matériau revient dans son état initial.
2. Le régime de déformation est plastique lorsqu'après sollicitation le matériau ne revient pas dans son état initial.

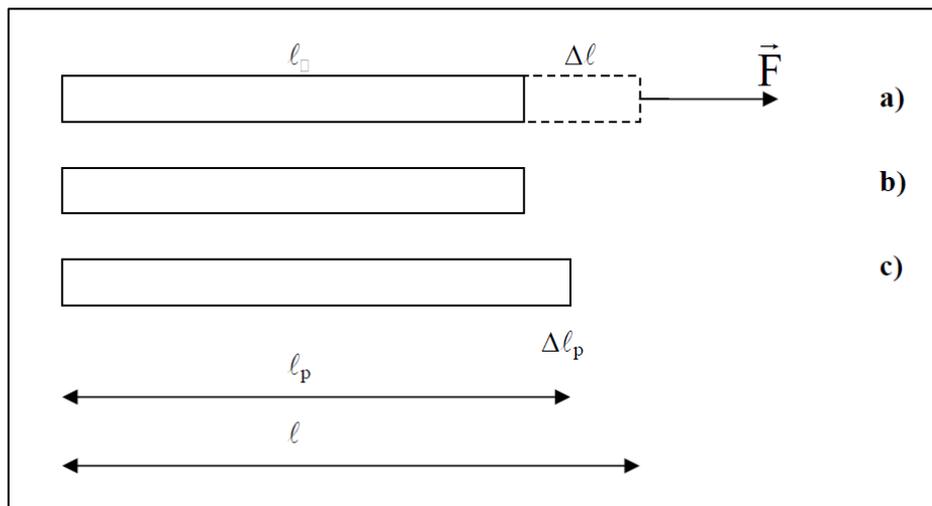


Figure 18 : Application d'une force et déformation (a), déformation élastique (b) et déformation plastique (c).

III.2 Courbe Contrainte - Déformation

L'étude des propriétés mécaniques des matériaux s'effectue sur des éprouvettes dont on mesure les variations des dimensions sous l'action de diverses sollicitations.

L'essai le plus simple et le plus pratiqué sur les métaux est l'essai de traction simple.

La figure (19) schématise un essai de traction où l'éprouvette est sollicitée par une force F croissante à l'aide d'une machine d'essai spéciale.

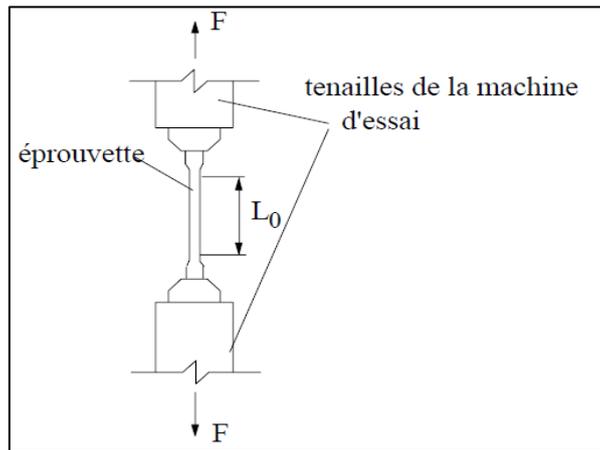


Figure 19 : Eprouvette pour l'essai de traction simple.

La figure (20) présente l'allure typique de la courbe expérimentale $\bar{\sigma} = f(\bar{\epsilon})$ obtenue lors d'un essai de traction réalisé sur une éprouvette acier doux.

$\bar{\sigma}$: Contrainte.

$\bar{\epsilon}$: Allongement longitudinal.

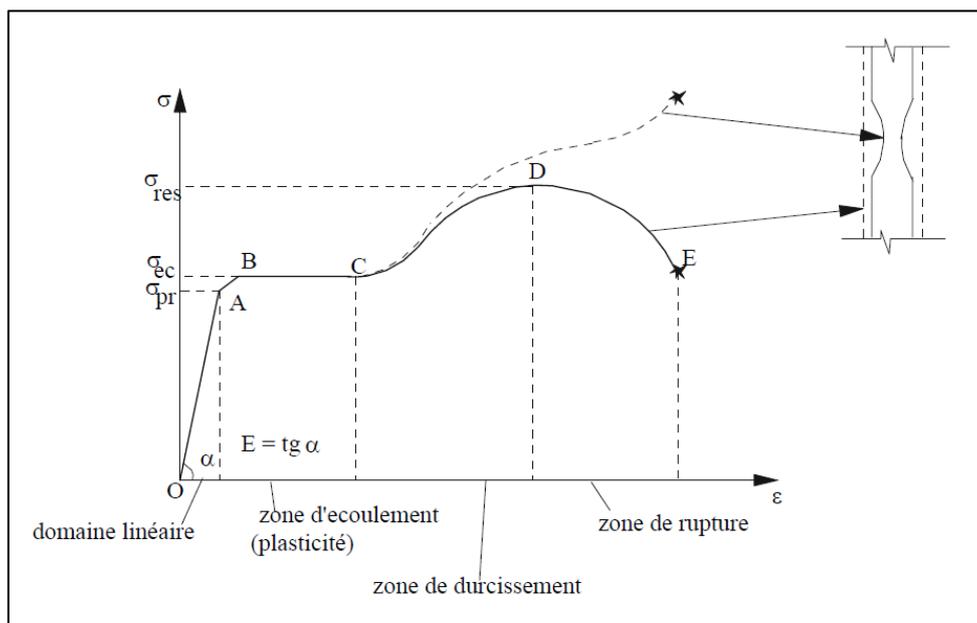


Figure 20 : Allure typique de la courbe expérimentale $\bar{\sigma} = f(\bar{\epsilon})$.

Le diagramme comporte une première partie OA rectiligne, qui définit le domaine linéaire du matériau où la contrainte $\bar{\sigma}$ est proportionnelle à la déformation $\bar{\epsilon}$.

A partir du point A débute le domaine des déformations non linéaire mais le phénomène reste toujours réversible. Le point B correspond à la contrainte limite d'élasticité c'est à dire à partir duquel tout chargement supplémentaire et déchargement résulte en déformations résiduelles (permanentes).

Entre B et C, l'éprouvette s'allonge sous un effort sensiblement constant. Le palier BC est la zone d'étirement (écoulement).

La zone CD est la zone de raffermissement (durcissement) ou d'écrouissage.

Le sommet D de la courbe correspond à la contrainte de la limite de résistance.

III.3 Contraintes

1. Contraintes d'extension (de traction)

La contrainte est l'effort unitaire que subit le matériau. Il faut répartir l'effort normal N sur chaque unité de surface. L'unité de surface utilisée est le mm^2 .

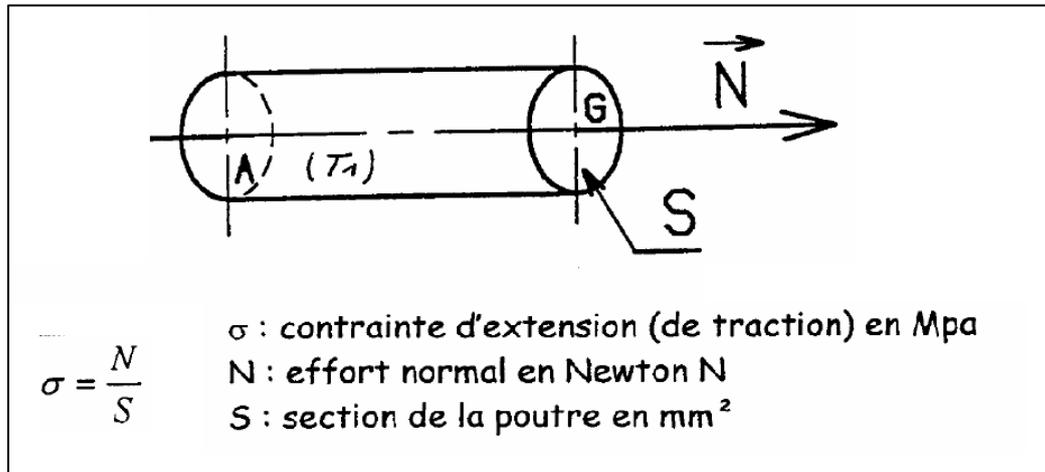


Figure 21 : Contraintes d'extension (de traction).

2. Contraintes de résistance

Pour soutenir une charge dans de bonnes conditions il faut que la contrainte interne (de cohésion) soit inférieur ou égale à la contrainte maximale qu'elle peut subir. On note $\sigma \leq R_e$, σ Contrainte d'extension en MPa et R_e Résistance élastique en MPa.

On détermine une résistance pratique à l'extension (noté R_{pe}) en divisant la résistance élastique (R_e) par un coefficient de sécurité (noté s). On a $R_{pe} = R_e / s$. La condition de résistance devient alors: $\sigma \leq R_{pe}$.

III.4 Critère de plasticité

Avec ce critère on peut savoir, sous des sollicitations données, si une pièce se déforme plastiquement ou si elle reste dans le domaine élastique.

Deux critères principaux ont été montrés à travers de nombreux essais :

1. Critère de Tresca-Guest.
2. Critère de von Mises qu'il va être utilisé dans les calculs avec le logiciel ANSYS.

Chapitre IV

Importation de la structure de SOLIDWORKS à l'ANSYS avec les cordons de soudure

Introduction

Lors de l'importation de la structure de l'enceinte conçue avec le logiciel SOLIDWORKS vers le logiciel de simulation ANSYS (Version R15.0), il vu que le logiciel d'ANSYS ne lis pas les cordons de soudure créer avec le logiciel SOLIDWORKS sous la fonction « Construction Soudée » et les considère comme des pièces constituant la structure. Il faut donc de définir les cordons de soudures.

Pour faire une étude de simulation sur la structure de l'enceinte il faut faire une analyse statique d'ANSYS WorkBench qui demande, dans les premières étapes, de :

- Définir les Données matériaux.
- Définir la Géométrie.
- Définir d'un système de coordonnées.
- Faire le Maillage.

IV.1 Données matériaux

Introduire le matériau Acier S235JR pour la structure et le matériau d'Acier ER705-3 pour les cordons de soudure dans la case « Données matériaux » d'ANSYS WorkBench.

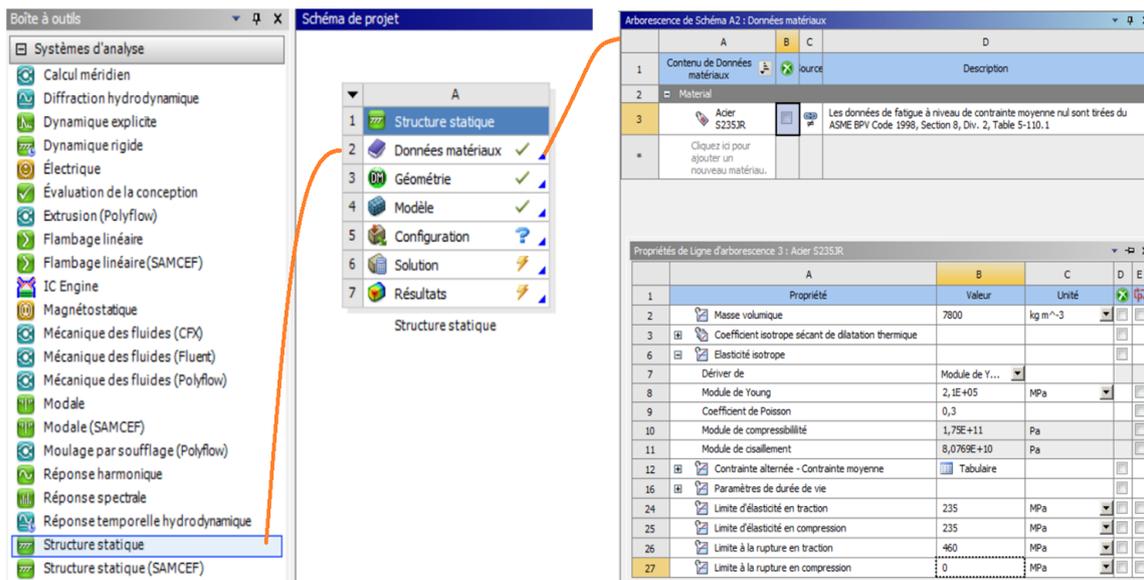


Figure 22 : Interface d'ANSYS WorkBench.

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

Arborescence de Schéma A2 : Données matériaux				
	A	B	C	D
1	Contenu de Données matériaux		Source	Description
2	Material			
3	Acier S235JR			Les données de fatigue à niveau de contrainte moyenne nul sont tirées du ASME BPV Code 1998, Section 8, Div. 2, Table 5-110.1
*	Cliquez ici pour ajouter un nouveau matériau.			

Propriétés de Ligne d'arborescence 3 : Acier S235JR				
	A	B	C	D
1	Propriété	Valeur	Unité	
2	Masse volumique	7800	kg m ⁻³	
3	Coefficient isotrope sécant de dilatation thermique			
6	Elasticité isotrope			
7	Dériver de	Module de Y...		
8	Module de Young	2,1E+05	MPa	
9	Coefficient de Poisson	0,3		
10	Module de compressibilité	1,75E+11	Pa	
11	Module de cisaillement	8,0769E+10	Pa	
12	Contrainte alternée - Contrainte moyenne	Tabulaire		
16	Paramètres de durée de vie			
24	Limite d'élasticité en traction	235	MPa	
25	Limite d'élasticité en compression	235	MPa	
26	Limite à la rupture en traction	460	MPa	
27	Limite à la rupture en compression	0	MPa	

Figure 23 : Introduire les données matériau d'Acier S235JR (Cités dans chapitre II).

Arborescence de Schéma A2 : Données matériaux				
	A	B	C	D
1	Contenu de Données matériaux		Source	Description
2	Material			
3	Acier ER70S-3			
4	Acier S235JR			Les données de fatigue à niveau de contrainte moyenne nul sont tirées du ASME BPV Code 1998, Section 8, Div. 2, Table 5-110.1
*	Cliquez ici pour ajouter un nouveau matériau.			

Propriétés de Ligne d'arborescence 3 : Acier ER70S-3				
	A	B	C	D
1	Propriété	Valeur	Unité	
2	Masse volumique	19300	kg m ⁻³	
3	Elasticité isotrope			
4	Dériver de	Module de Y...		
5	Module de Young	4,06E+05	MPa	
6	Coefficient de Poisson	0,3		
7	Module de compressibilité	3,3833E+11	Pa	
8	Module de cisaillement	1,5615E+11	Pa	
9	Limite d'élasticité en traction	405	MPa	
10	Limite d'élasticité en compression	405	MPa	

Figure 24 : Introduire les données matériau d'Acier ER70S-3. [04]

IV.2 Géométrie

La structure à étudier a été conçue avec le logiciel SOLIDWORKS et enregistrée sous format "STEP" pour l'exporter dans le logiciel ANSYS.

Cette étape d'importation du fichier de la géométrie permet de ouvrir la fenêtre « Design Modeler » sous ANSYS, qui permet de importer et générer la structure.

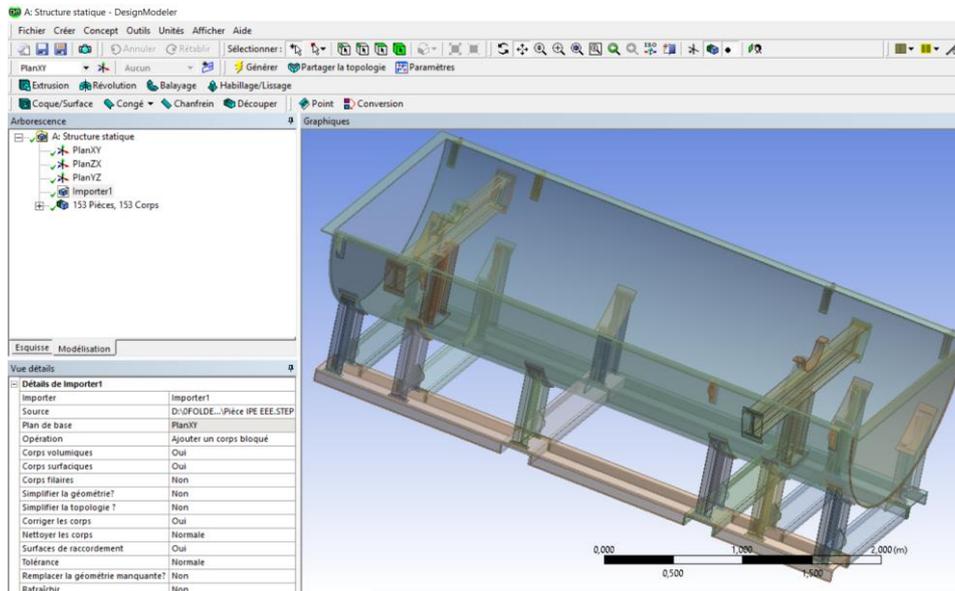


Figure 25 : Importation de la structure de SOLIDWORKS au Design Modeler d'ANSYS.

Toutes les pièces constituant la structure doivent être assemblées par le soudage ou un autre type d'assemblage. Comme cité dans le chapitre précédent on va se concentrer sur les zones critiques telles que :

- Les anneaux de levage.
- Entre le palier gauche et le pied intérieur gauche.
- Entre le palier droit et le pied intérieur droit.
- Entre le pied intérieur gauche et la coque cylindrique de la partie basse.
- Entre le pied intérieur droit et la coque cylindrique de la partie basse.
- Entre la structure des pieds extérieurs.
- Entre la structure des pieds extérieurs et la coque cylindrique de la partie basse.

Sous l'étape « Modèle » d'ANSYS WorkBench on définit les cordons de soudure par changement du matériau et les renomme pour les différencier des autres composants.

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

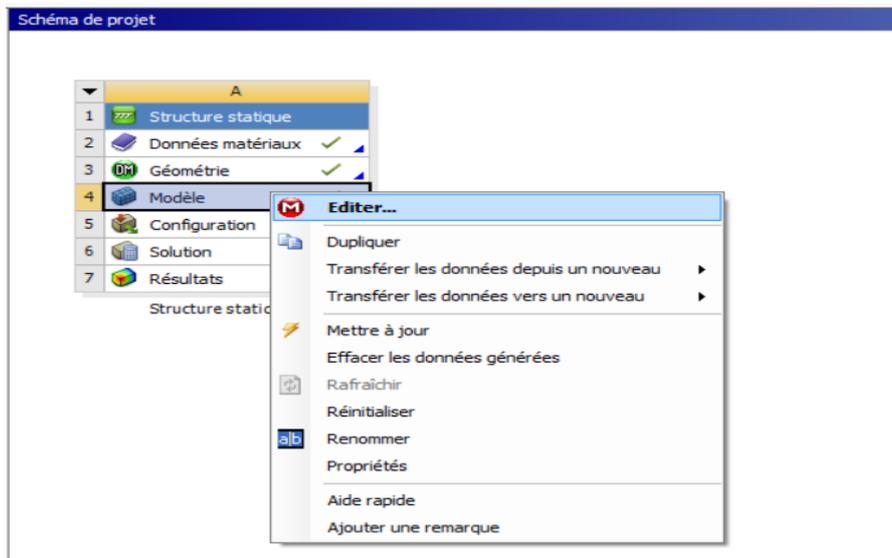


Figure 26 : Accéder à la case Modèle.

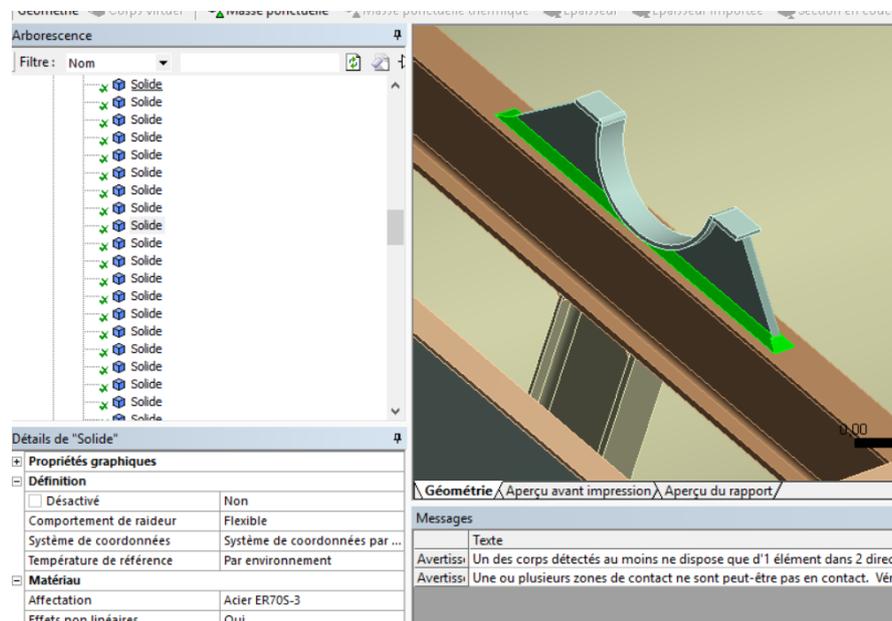


Figure 27 : Sélection des cordons de soudure dans la case géométrie.

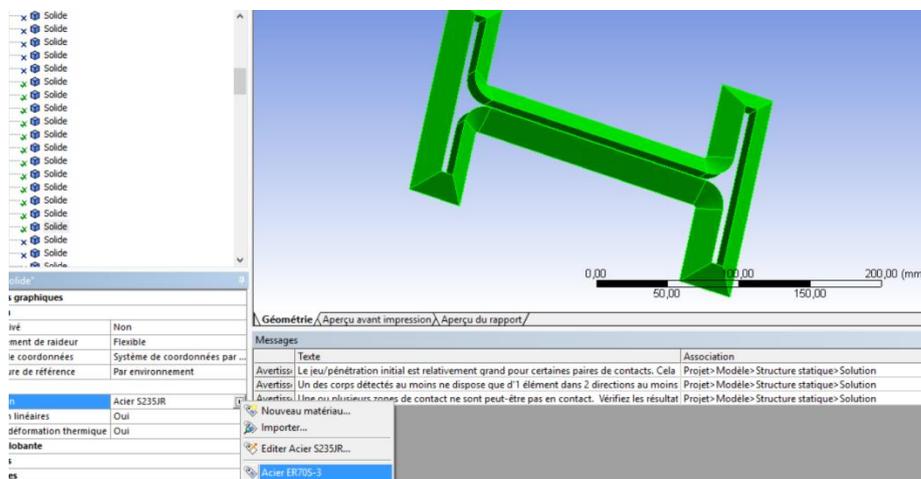


Figure 28 : Changement du matériau de cordon de soudure dans la case Affectation.

IV.3 Système de coordonnées

Lors de la définition des paramètres pour une analyse. Il est intéressant d'ajouter des conditions aux limites ou des chargements dans un repère de coordonnées autre que celui par défaut.

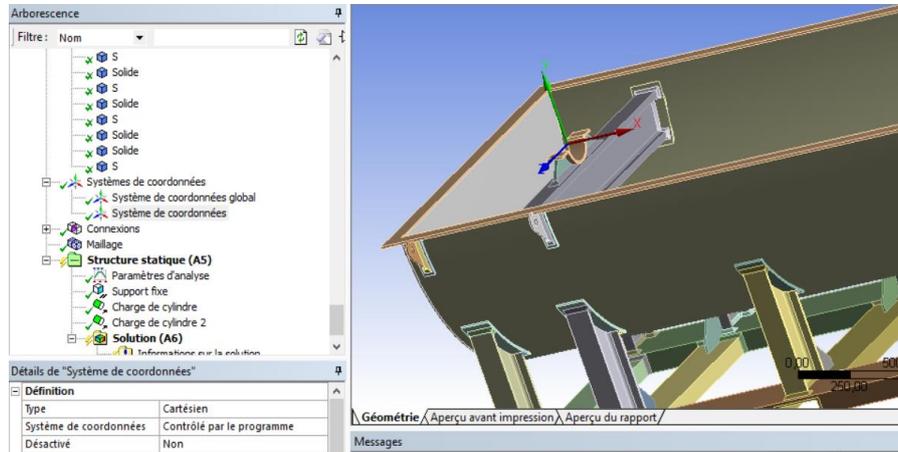


Figure 29 : Système de coordonnées pour la structure.

IV.4 Maillage

Le maillage est une partie intégrante du processus de calcul par éléments finis. Pour le modèle solide de la structure de l'enceinte rotor, le maillage est de type surfacique triangulaire contrôlé par le programme.

Pour avoir un meilleur résultat, il faut faire un maillage raffiné au niveau des cordons de soudure (Plus le maillage est fin, moins il contribue aux écarts entre simulation et réalité).

IV.4.1 Structure sans soudure

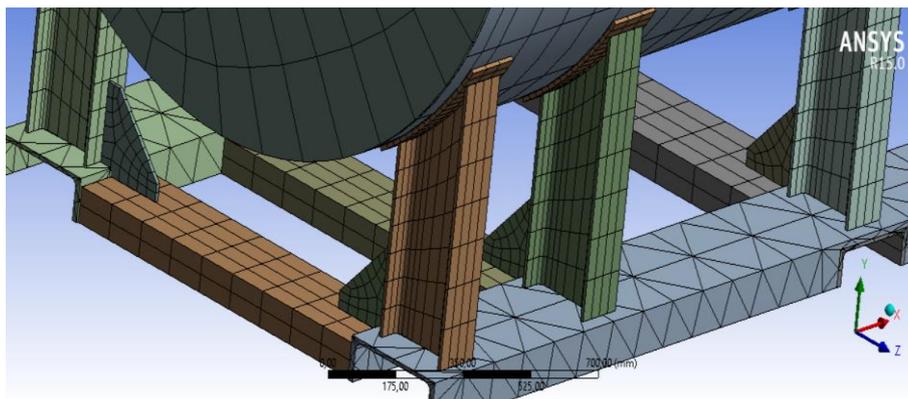


Figure 30 : Structure maillée (sans soudure).

Nombre de nœuds	Nombre d'éléments
63139	10752

Tableau 06 : Nombre total d'éléments et des nœuds.

IV.4.2 Structure avec soudure

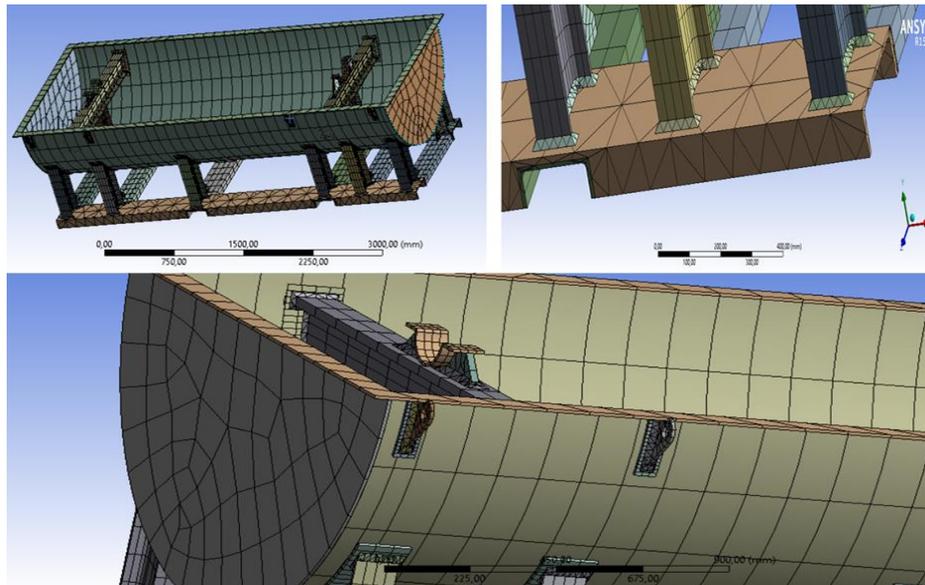


Figure 31 : Structure maillée (Maillage surfacique du modèle en 3D).

Nombre de nœuds	Nombre d'éléments
92627	19863

Tableau 07 : Nombre total d'éléments et des nœuds.

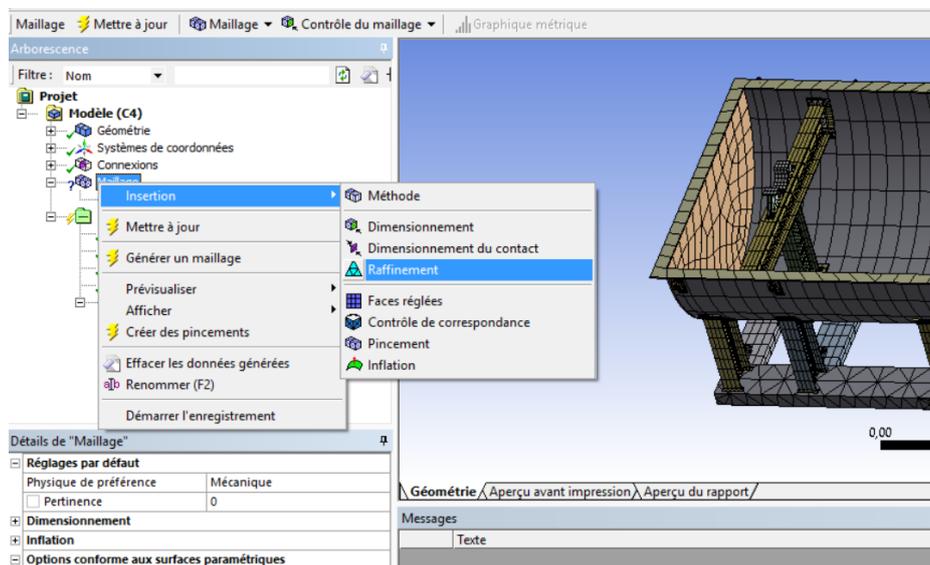


Figure 32 : Raffinement au niveau des cordons de soudure.

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

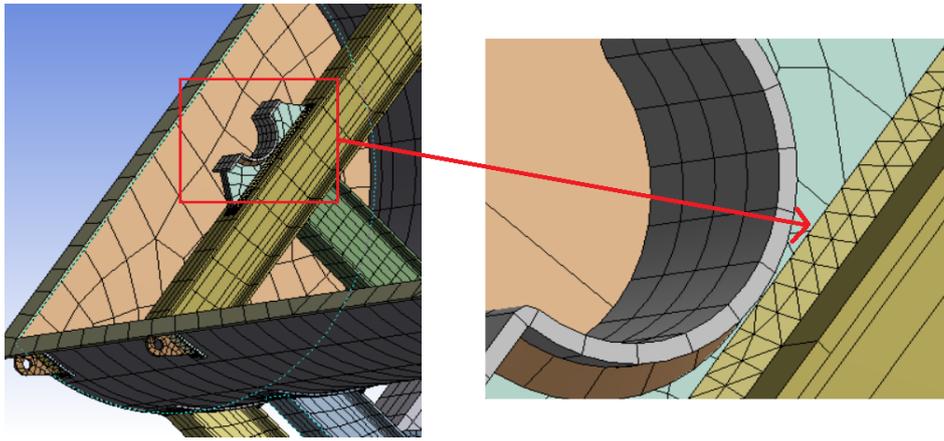


Figure 33 : Raffinement au niveau des cordons de soudure du palier.

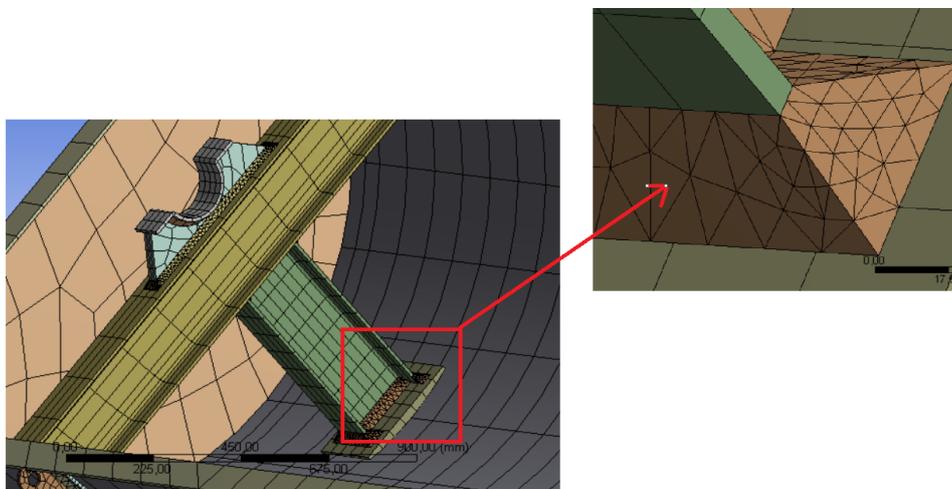


Figure 34 : Raffinement au niveau du cordon de soudure du pied.

Nombre de nœuds	Nombre d'éléments
119316	32055

Tableau 08 : Nombre total d'éléments et des nœuds après raffinement au niveau des cordons de soudure.

Chapitre V

Modélisation des cordons de soudures de la structure à l'aide du logiciel ANSYS

Introduction

Une analyse de structure permet de prédire la réponse d'un milieu (solide ou fluide) soumis à des conditions imposées par l'environnement externe (force, déplacement, flux thermique,...). Le but d'une analyse structurale est de déterminer les contraintes et déformations d'un système ou un composant auquel on applique un chargement. [05]

Il est important de modéliser et simuler les soudures afin de garantir une sécurité à l'ensemble de la structure.

La structure à étudier est dessinée à l'aide du logiciel SolidWorks car il permet de la réaliser avec une très grande précision du point de vue dimensions et formes géométriques. [06]

La simulation des cordons de soudure s'effectue avec le logiciel ANSYS (Version R15.0) par une analyse statique d'ANSYS WorkBench qui contient les étapes suivantes :

- Modèle.
- Configuration.
- Solution.
- Résultats.

Les analyses statiques linéaires considèrent que les forces sont appliquées de façon statique (pas de variation au cours du temps (inertie), et aucun effet d'amortissement), sur des matériaux présentant un comportement élastique linéaire.

La simulation a été faite sur la partie basse de l'enceinte rotor, car c'est la partie qui est exposé aux contraintes du poids du rotor, dans deux cas de calculs :

- Première cas Enceinte rotor posée sur le sol.
- Deuxième cas Enceinte rotor élevée par un chariot élévateur.

V.1 Modèle et configuration

Les étapes Données matériaux et Géométrie sont traité dans le chapitre précédent.

L'étape « Modèle et configuration » permet de ouvrir la fenêtre « Mechanical ANSYS Multiphysics » qui est le cœur de la simulation qui permet de :

- Définir d'un système de coordonnées (Cité dans chapitre IV).
- Faire le Maillage (Cité dans chapitre IV).
- Définir les conditions aux limites en déplacement (supports⁽⁴⁾).
- Définir les charges.

V.1.1 Conditions aux limites en déplacement

Pour les conditions aux limites en déplacement du modèle, ANSYS possède une gamme complète de supports des structures, les principaux utilisés dans le cadre d'une analyse linéaire statique sont les supports fixes (aucune déplacements selon les axes x, y et z). [05]

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

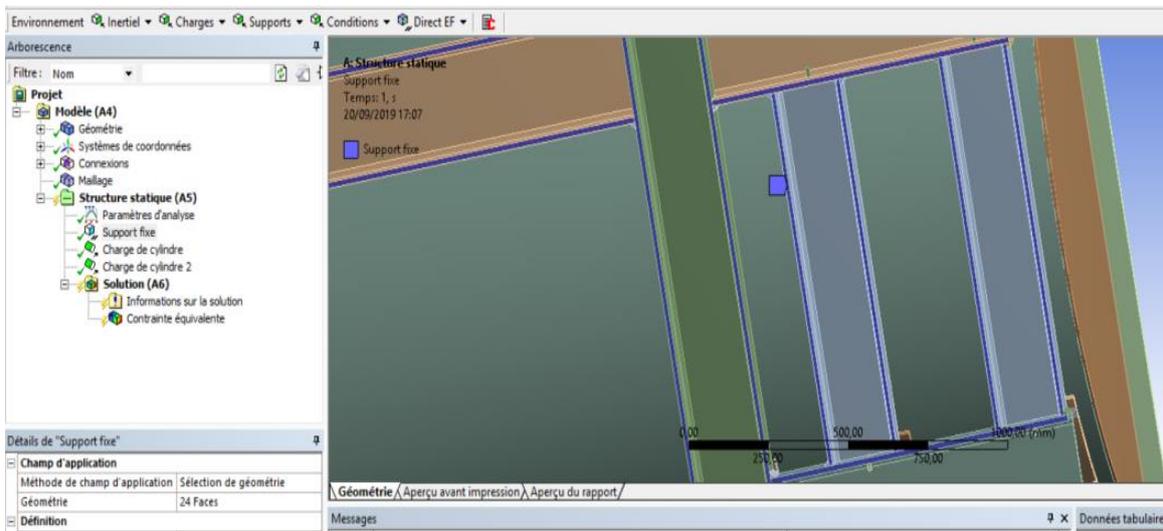


Figure 35 : Les supports fixes (cas enceinte rotor posée sur le sol).

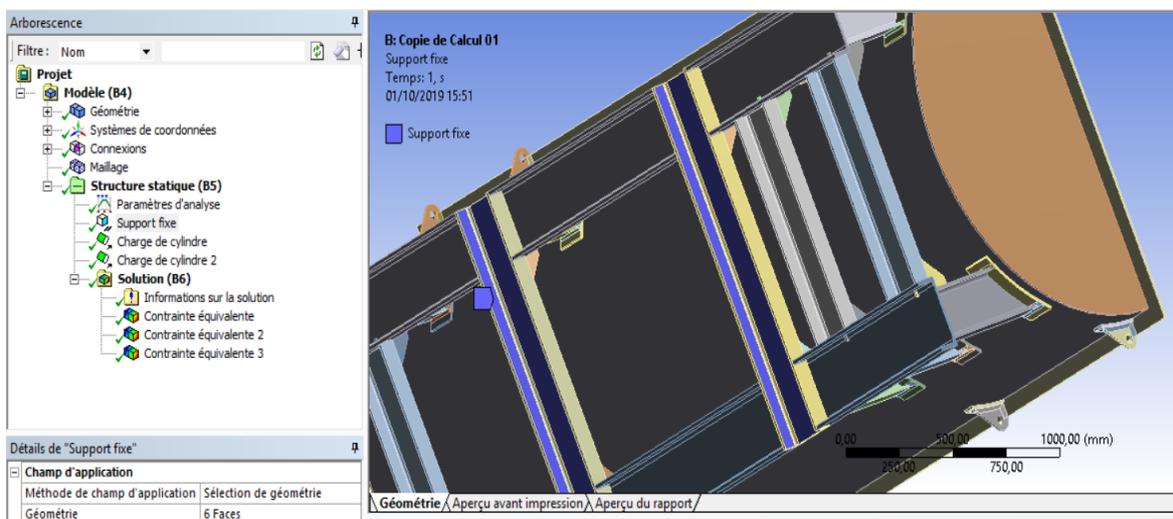


Figure 36 : Les supports fixes (cas enceinte rotor élevée par un chariot élévateur).

V.1.2 Charges

Les charges appliquées aux niveaux des paliers sont de type « Charge de cylindre » au niveau des paliers du rotor :

Palier A : 27103 N.

Palier B : 57207 N.

(4) ANSYS possède une gamme complète de supports des structures, les principaux utilisés dans le cadre d'une analyse linéaire statique sont les supports fixes.

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

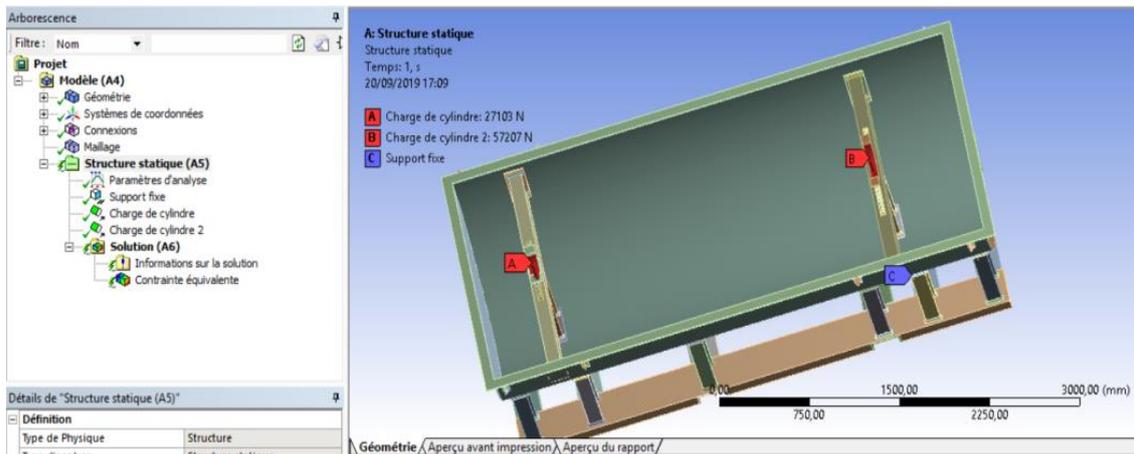


Figure 37 : Les charges aux niveaux des paliers A et B.

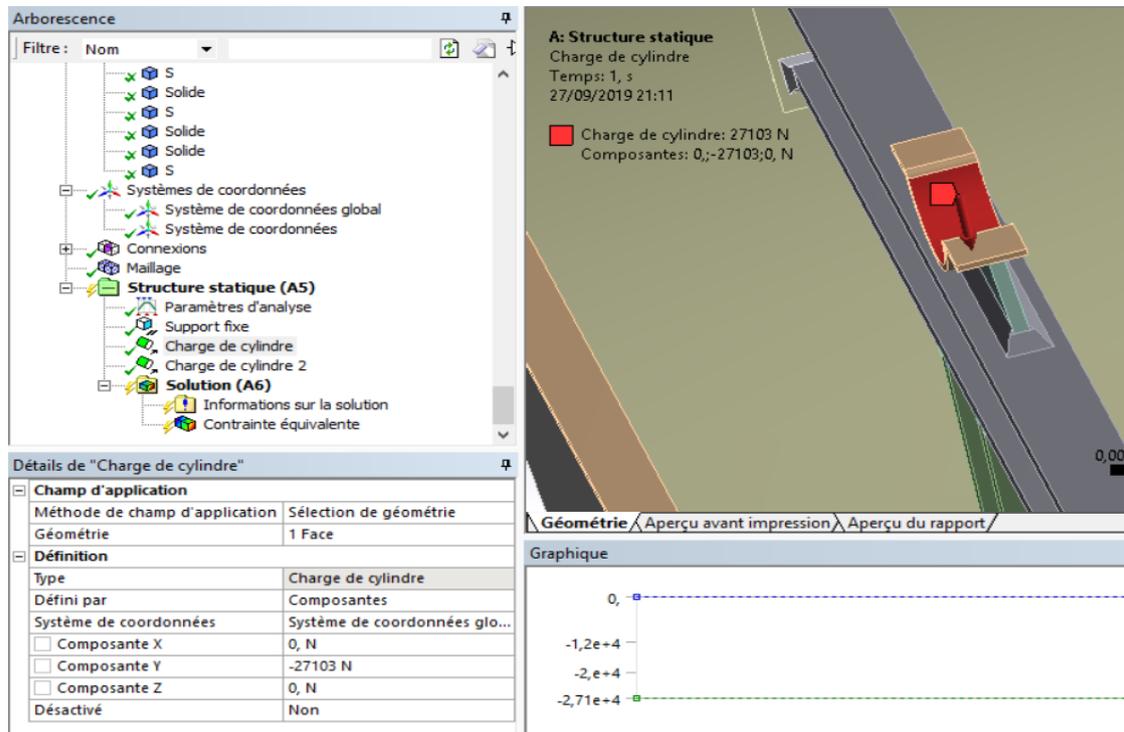


Figure 38 : Charge de type « Charge de cylindre ».

V.2 Solutions et résultats

Les calculs de la nouvelle conception (la partie basse) avec les fonctionnalités de « Mécano-soudés » et « Tôlerie » sont un peu différents de celle du mémoire précédent avec un coefficient de sécurité égal à deux et demi (2,5).

V.2.1 Première cas Enceinte posée sur le sol

L'exécution de l'analyse avec le logiciel ANSYS a indiqué les contraintes équivalentes de Von mises.

1. Structure sans soudure de la conception du mémoire précédent

La Figure 39 montre les distributions des contraintes.

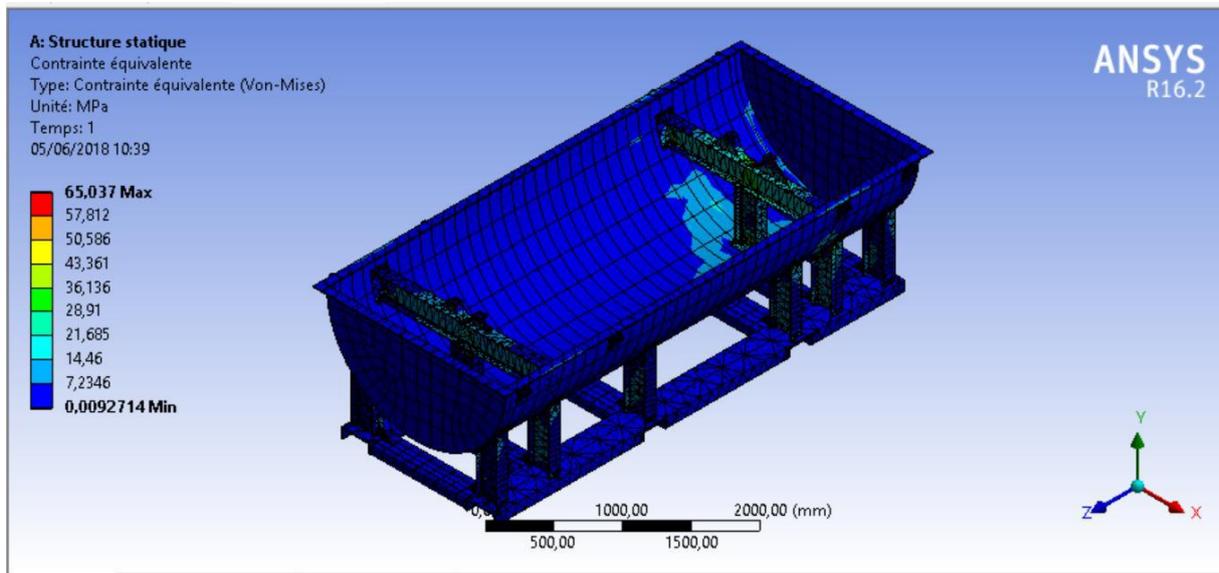


Figure 39 : Distribution des contraintes du calcul 01 en MPa.

2. Structure sans soudure de la nouvelle conception

La Figure 40 montre les distributions des contraintes sur la nouvelle conception de l'enceinte rotor sans prise en compte des cordons de soudure avec des conditions de déplacement nul sur toutes les faces en contact avec le sol.

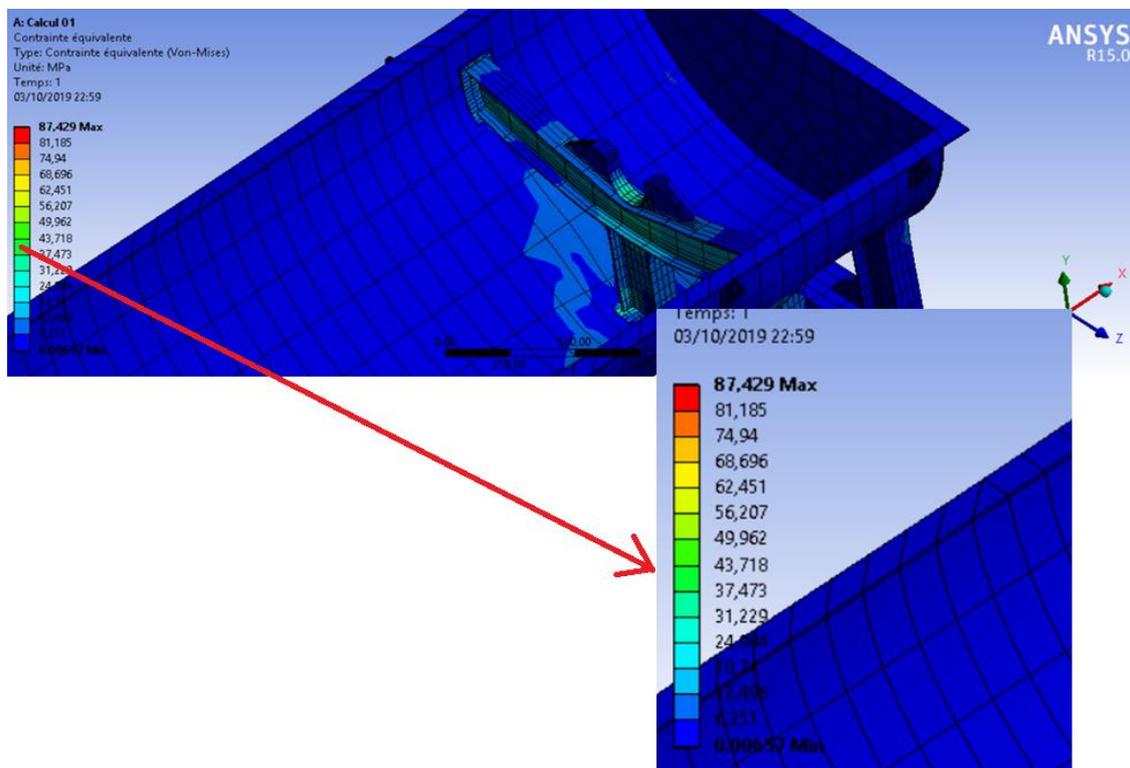


Figure 40 : Distribution des contraintes du calcul 01 en MPa (Sans prise en compte des cordons de soudure).

On observe que la contrainte équivalente maximale dans la structure est égale à 87,4 MPa.

3. Structure avec soudure

La Figure 41 montre les distributions des contraintes sur la nouvelle conception de l'enceinte rotor avec prise en compte des cordons de soudure avec des conditions de déplacement nul sur toutes les faces en contact avec le sol.

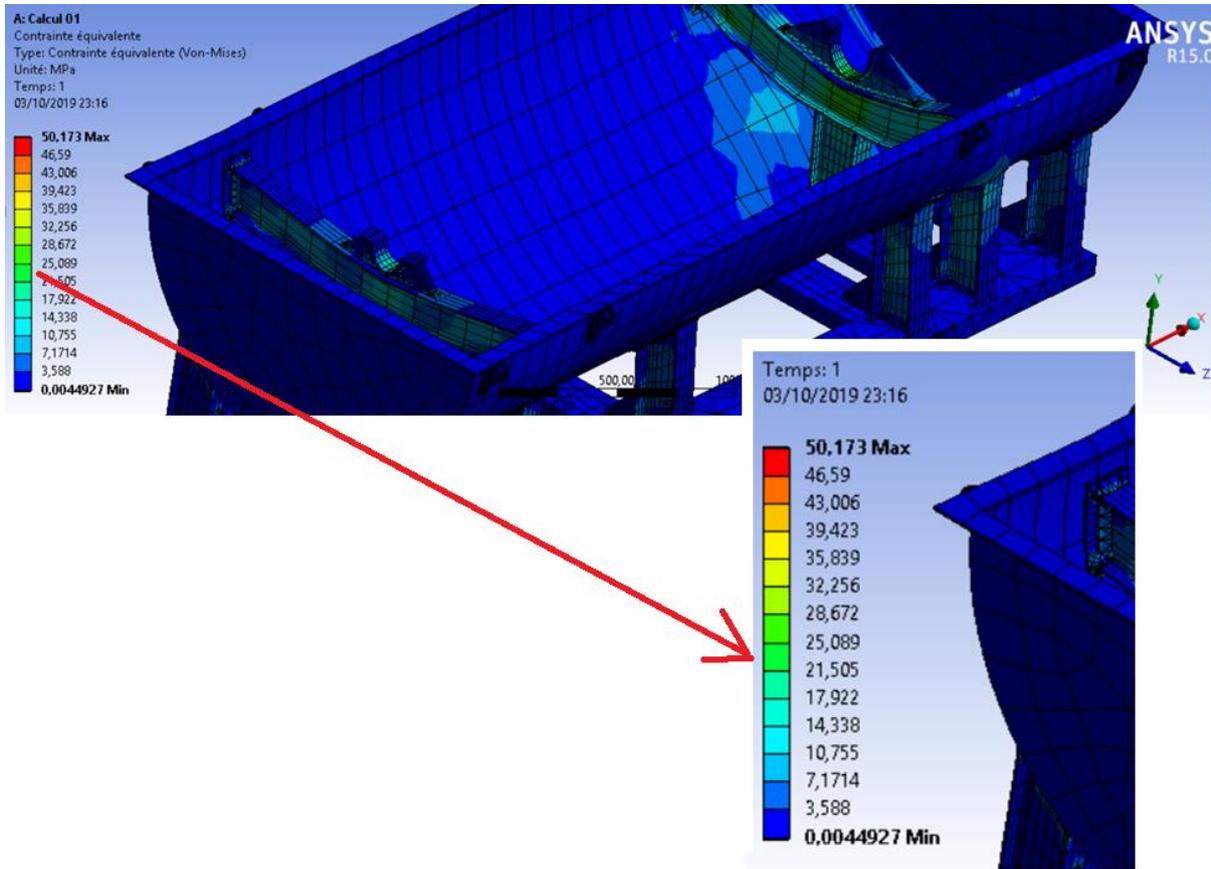


Figure 41 : Distribution des contraintes du calcul 01 en MPa (Avec les cordons de soudure).

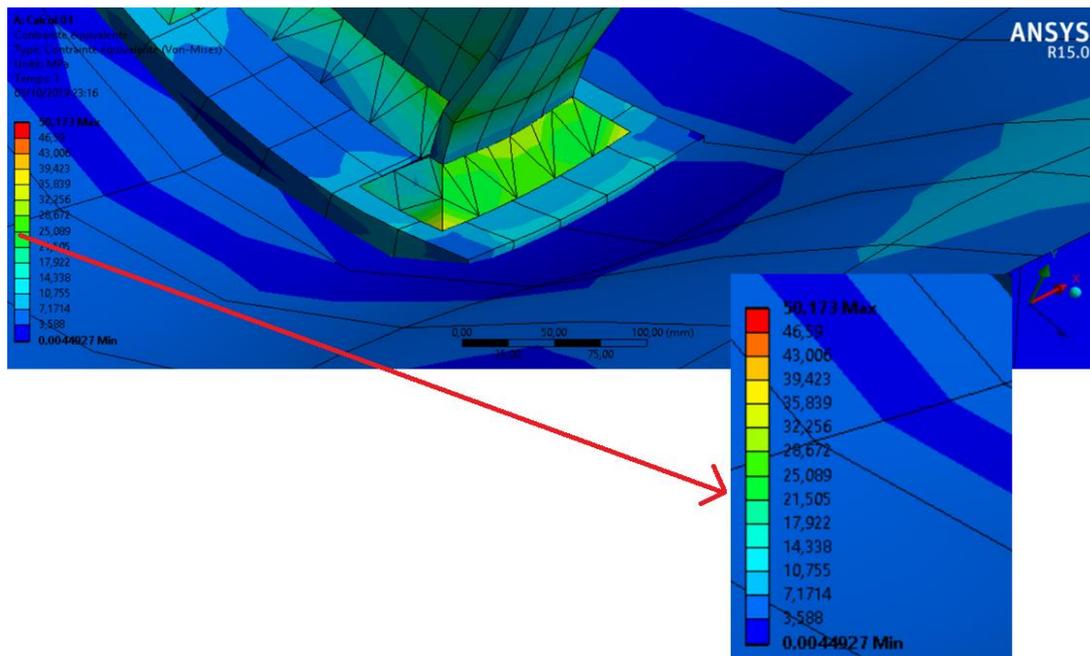


Figure 42 : Distribution des contraintes au niveau des cordons de soudure des pieds en MPa.

On observe que la contrainte équivalente maximale dans la structure est égale à 50,1 MPa.

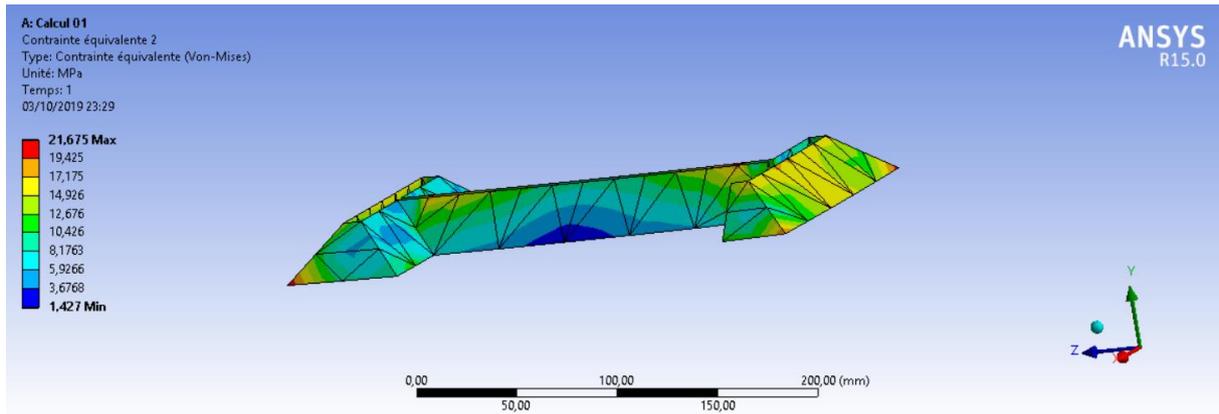


Figure 43 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du support de palier A en MPa.

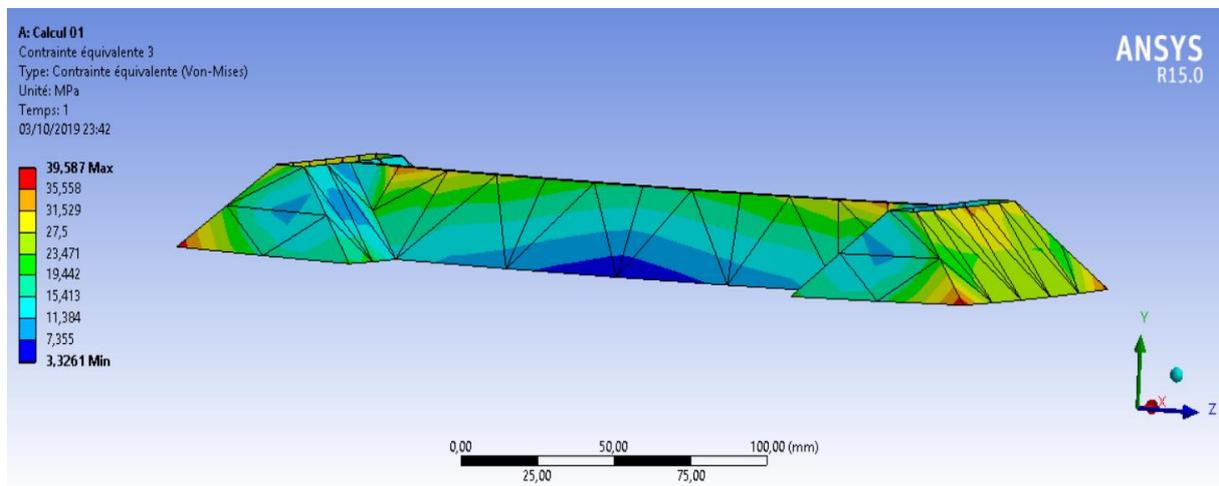


Figure 44 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du support de palier B en MPa.

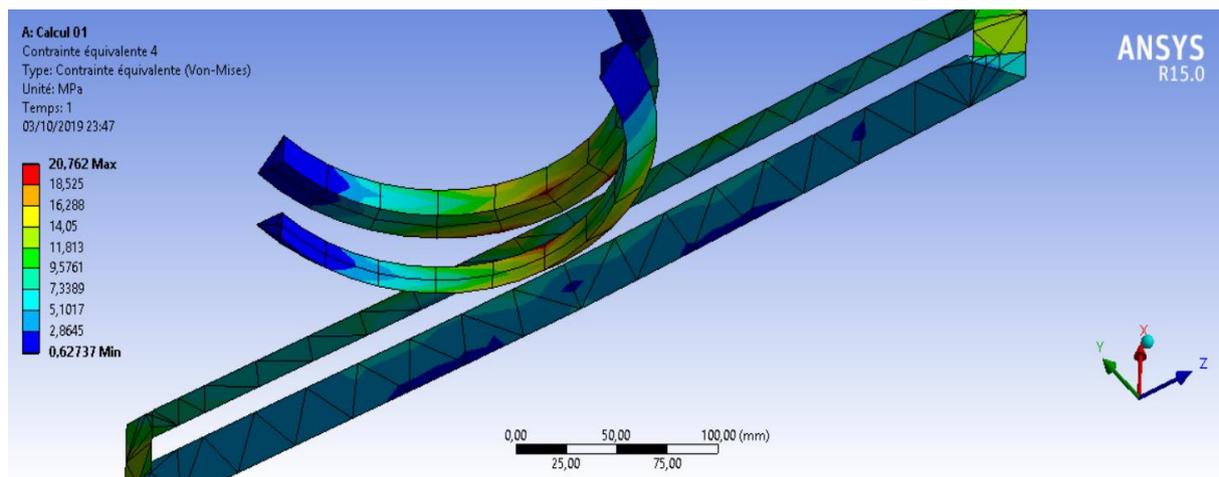


Figure 45 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du palier A en MPa.

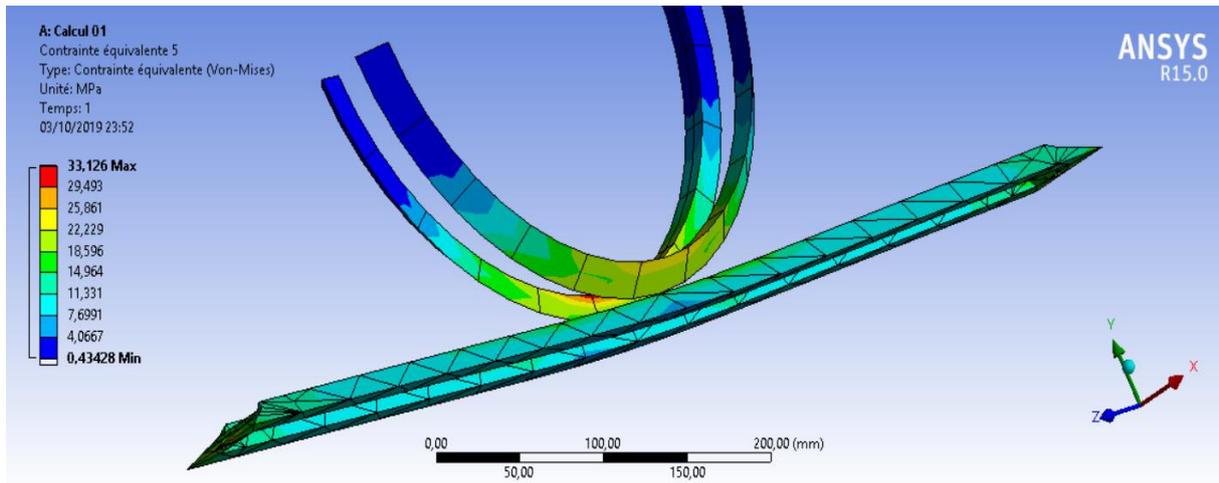


Figure 46 : Distribution des contraintes dans le cordon de soudure du palier B en MPa.

V.2.2 Deuxième cas Enceinte élevée par un chariot élévateur

1. Structure sans soudure de la conception du mémoire précédent

La Figure 47 montre les distributions des contraintes.

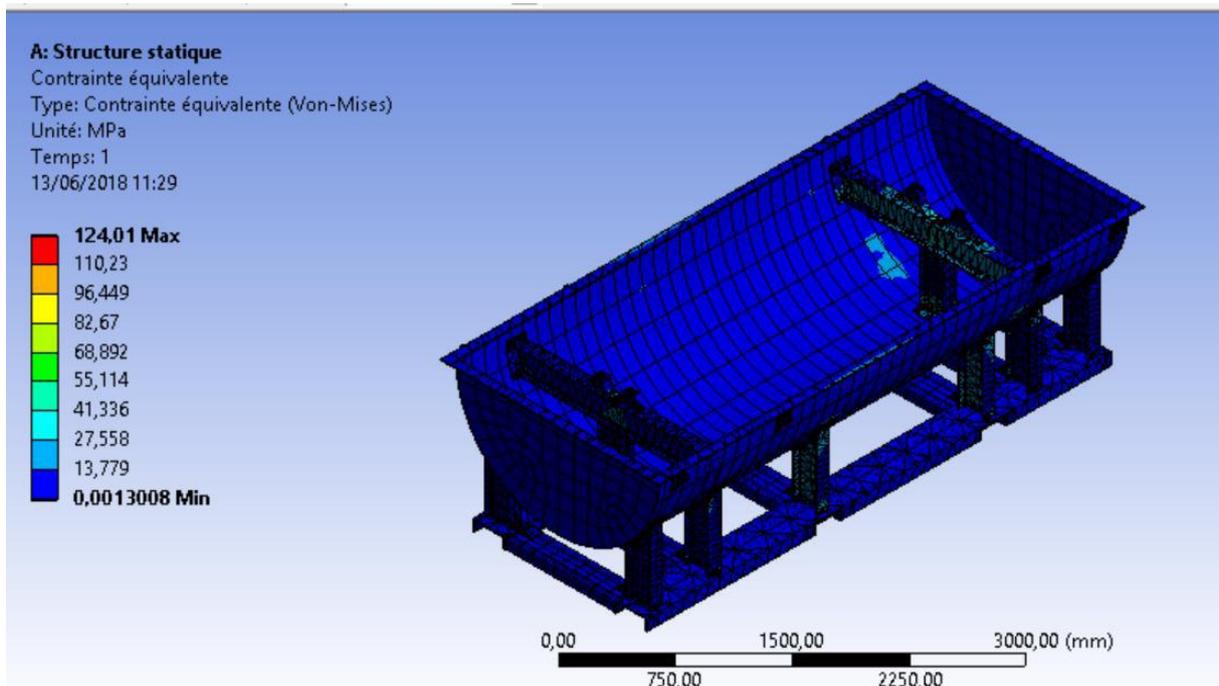


Figure 47 : Distribution des contraintes du calcul 02 en MPa (Sans prise en compte des cordons de soudure).

2. Structure sans soudure de la nouvelle conception

La Figure 48 montre les distributions des contraintes sur la nouvelle conception de l'enceinte rotor sans prise en compte des cordons de soudure avec des conditions de déplacement nul sur toutes les faces en contact avec les fourches de chariot élévateur.

Prise en compte de la soudure dans la conception d'une enceinte pour rotor

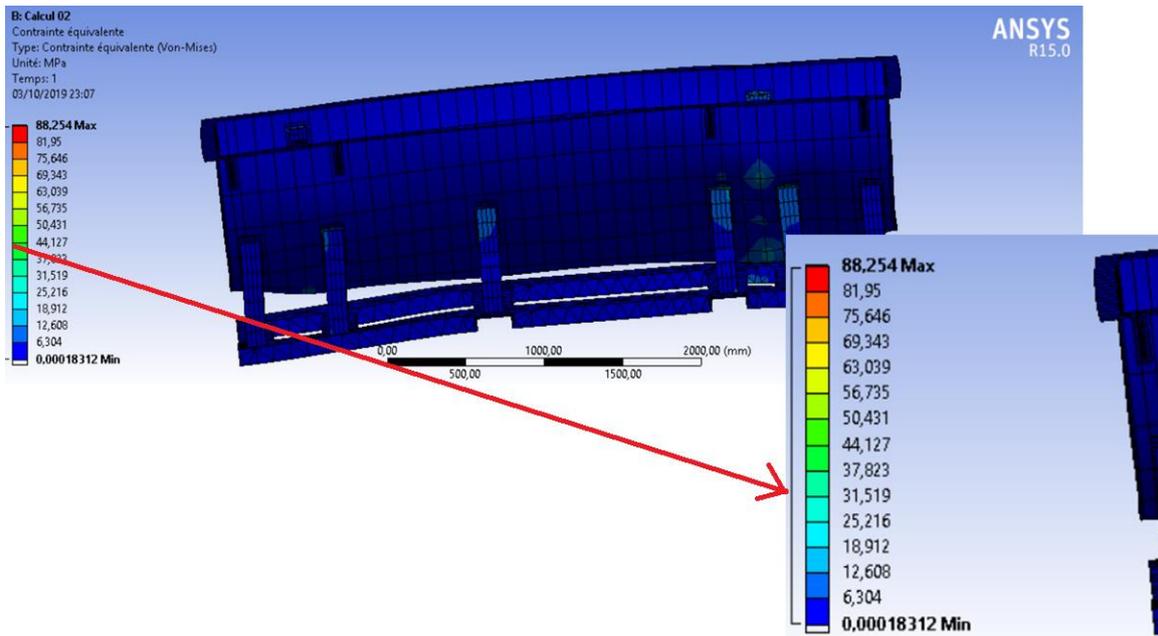


Figure 48 : Distribution des contraintes du calcul 02 en MPa (Sans prise en compte des cordons de soudure).

On observe que la contrainte équivalente maximale dans la structure est égale à 88,2 MPa.

3. Structure avec soudure

La Figure 49 montre les distributions des contraintes sur la nouvelle conception de l'enceinte rotor avec prise en compte des cordons de soudure avec des conditions de déplacement nul sur toutes les faces en contact avec les fourches de chariot élévateur.

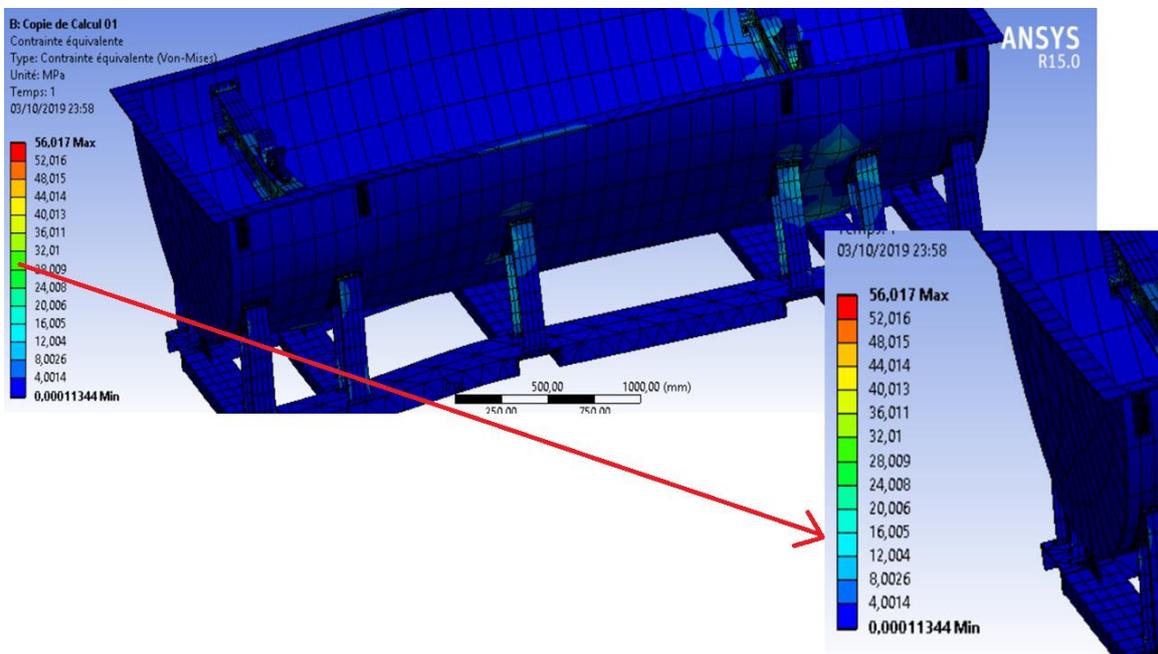


Figure 49 : Distribution des contraintes du calcul 02 en MPa (Avec les cordons de soudure).

On observe que la contrainte équivalente maximale dans la structure est égale à 56 MPa.

V.3 Récapitulation des résultats et vérification de la résistance

Structure	Contrainte équivalente maximale (MPa)		limite élastique du matériau (MPa)	Coefficient de sécurité	Remarque
	Calcul 1	Calcul 2			
Sans soudure	87,4	88,2	235	2,5	$< 235/2,5$ résistance vérifiée
Avec soudure	50,1	56	235	2,5	$< 235/2,5$ résistance vérifiée

Tableau 09 : Récapitulation des résultats.

On observe que les contraintes équivalentes maximales dans la structure sans soudure ne dépassent pas la limite d'élasticité de l'acier S235JR, ce qui résulte que la résistance est vérifiée.

On observe que les contraintes équivalentes maximales dans la structure avec soudure ne dépassent pas la limite d'élasticité de l'acier S235JR et le métal d'apport ER705-3. On conclut que la résistance est vérifiée.

On constate que les valeurs des contraintes équivalentes maximales dans la structure avec soudure sont moins que la structure sans soudure d'où l'importance de prise en compte des cordons de soudure pour rendre l'enceinte rotor plus résistante aux contrainte du rotor de la turbine.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les travaux du transport des rotors de la turbine demandent une sécurité élevée et une structure d'enceinte pour le transport très robuste qui supporte les contraintes du poids du rotor.

La prise en compte des cordons de soudures dans la construction devrait avoir lieu afin d'assurer cette sécurité.

L'analyse élastique d'une structure est importante pour étudier son comportement, particulièrement en ce qui concerne sa solidité, sous le chargement pour lequel la structure est conçue. Cependant, si la charge est augmentée au-delà de la limite élastique, la structure subit alors des déformations Elasto-plastique.

Dans le but de bien cerner ce problème, nous avons utilisés des différents logiciels (ANSYS et SOLIDWORKS) pour étudier la partie basse d'une enceinte rotor avec prise en compte du soudage.

Cette simulation numérique nous a permis de voir l'importance de prise en compte des cordons de soudure pour rendre l'enceinte rotor plus résistante aux contraintes du rotor de la turbine dans les deux cas de chargement :

- Enceinte rotor posée sur le sol.
- Enceinte rotor élevée par un chariot élévateur.

Par conséquent et pour continuer dans les calculs statiques de voir comme perspectives l'étude et simulation de l'enceinte rotor soulevée par une grue à travers ses anneaux de levage avec prise en compte du soudage.

Références

- [01] FRUITER, L. (2012). Construction métalliques. Moyens d'assemblage. Techniques de l'ingénieur. P03.
- [02] BILL TAYLOR, ANNE GUESNIER, Struers A/S Copenhague, Danemark. Métallographie des soudures. P05.
- [03] LEROUL ALAA EDDINE, ZERROUK ISLEM, Conception et calcul d'une enceinte pour rotor, mémoire de PFE Master, Université de Blida 2018. P08, P09, P10, P12.
- [04] BENSOTRA, MOULOUDI, Amélioration des conceptions précédentes du caisson hyperbare, mémoire de PFE Master, Université de Blida 2016. P23.
- [05] SOPHIE EVE, (2018/2019). TP de Simulation Numérique par Eléments Finis Code de calcul ANSYS Mechanical. P30.
- [06] N.H.CHERIET, F.Z. KETTAF, B. BOUCHOUICHA. Simulation Numérique D'une Structure Soudée. Mémoire de PFE Master, Université de Blida.