



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA 1

**FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : MECANIQUE**

PROJET DE FIN D'ETUDE

**POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER**

**Domaine : Sciences & Technologies
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Conception Mécanique**

MODÉLISATION NUMÉRIQUE D'UN CAISSON HYPERBARE

PROMOTEUR :

Dr. H.Ferdjani

Présenté par :

**MEDJBOUR Oussama
MIDOUNA Mustapha**

2014/2015

Remerciement

Avant de commencer la présentation de ce travail, On profite de l'occasion pour remercier Allah le tout puissant qui nous a donné chance, volonté et courage pour la réalisation de ce projet de fin d'études.

On tient à exprimer nos vifs remerciements pour notre grand et respectueux DR: FERDJANI Hichem, d'avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.

Nous remercions aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui n'ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mon cher père qui a toujours su me soutenir, me conseiller, m'assister, et m'indiquer le bon chemin. L'amour qu'il me voue est irremplaçable, ses sacrifices pour mon éducation et mes études sont énormes. Je lui dois beaucoup.

A ma chère mère, toujours serviable et dévouée, tout mon amour sans limites, pour sa douceur, sa tendresse et toute l'affection qu'elle m'a donné tout au long de ma vie. Je lui dois beaucoup.

C'est à mes parents qui n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager que je dédie ce travail. En leur exprimant ma gratitude, leur promettant de demeurer toujours à la hauteur des espoirs qu'ils placent en moi et de toujours honorer la famille...

A mon très cher frère Ismail et mes chères sœurs.

Mes beaux-frères Karim et Kamel ainsi que mes nièces et mes neveux

Puisse Dieu, le Tout Puissant, les garder en bonne santé.

A tous mes cousins et cousines, tantes et oncles, les deux familles

MEDJBOUR et ZAAFI.

A tous mes professeurs qui ont contribué à ma formation.

A tous mes amis, en particulier : ALLOU Mohamed Amine, KARAKACH Abdeslam, BENATIA Badis, DJABAR Sofiane, ABDEL DJABAR Abdelghani, MIDOUNA Mustapha.

A tous mes collègues de GENIE MECANIQUE.

Toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille et de ce fait, je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots. Que dieu vous protège et vous garde pour nous.

A ma précieuse sœur ainsi à mes deux chers frères

A tous mes cousins et cousines, tantes et oncles, les deux familles MIDOUNA et BENABDELKRIM

A mon cher ami, mon binôme, MEDJBOUR Oussama qui m'a supporté durant ces années d'étude .et chez qui j'ai trouvé l'entente dont j'avais besoin.

A tous mes amis avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur

A tous mes collègues de conception mécanique

Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

الملخص:

نكرس هاته المذكرة لتقديم أبعاد وتصميم غرفة ضغط عالي يستند التصميم على وصف غرفة الضغط العالي لمستشفى Vancouver، نقتراح تحسين هذا التصميم بالاعتماد على وثيقة وصور تصف غرفة الضغط الخاصة فانكوفر العام. النموذج الهندسي تم تصميمه باستعمال برنامج SOLIDWORKS أما تحديد الأبعاد فتم بواسطة تحليل العناصر المتناهية وذلك باستعمال تصميم مبسط بمساعدة برنامج ANSYS، خطوات التصميم وتحديد الأبعاد تم تفصيلها الى غاية التصميم النهائي.

Résumé :

Ce mémoire est consacré à la conception et au dimensionnement d'un caisson hyperbare. La conception est basée sur la description du caisson hyperbare de l'Hôpital général de Vancouver. La modélisation géométrique est effectuée à l'aide du logiciel SOLIDWORKS. Le dimensionnement est réalisé par l'intermédiaire d'un calcul éléments finis en utilisant le logiciel ANSYS. A cause de nos moyens de calcul limités, nous avons utilisé une conception simplifiée pour le calcul par éléments finis. Les différentes étapes de la conception et du dimensionnement sont explicitées jusqu'à l'aboutissement à la conception finale.

Summary:

This thesis is dedicated to the design and dimensioning of a hyperbaric chamber. The design is based on the description of the hyperbaric chamber of the Vancouver General Hospital. Geometric modeling is performed using the software SOLIDWORKS. The sizing is effected by means of a finite element calculation using ANSYS software. Because of our limited means of calculation, we used a simplified design for finite element. The different stages of the design and dimensioning are explained to completion in the final design.

Sommaire

	Titres	page
Introduction générale		
CHAPITRE I : Généralisation sur le caisson hyperbare Et nouveautés par rapport au travail précédent		
I.	Définition d'un caisson hyperbare : [1].....	- 18 -
I.1.	Définition de l'oxygénothérapie hyperbare(OHB) : [2].....	- 18 -
I.2.	Historique : [2].....	- 19 -
I.3.	INCIDENCE DES VARIATIONS DE PRESSION : [3].....	- 19 -
I.4.	Principe physique de l'oxygénothérapie hyperbare : [5].....	- 20 -
I.4.1.	Compression des volumes gazeux par augmentation de la pression ambiante : ...	- 20 -
I.4.2.	Mécanismes d'actions : [2].....	- 21 -
I.5.	Déroulement d'une séance:[2]	- 22 -
I.6.	Présentation d'une installation hyperbare : [4]	- 23 -
I.7.	Homologation des chambres hyperbares et des dispositifs médicaux (DM) utilisés : [4]	- 23 -
I.8.	Nouveautés par rapport au travail précédent :	- 25 -
I.9.	Introduction :	- 25 -
I.10.	Insuffisances de la conception précédente :	- 25 -
I.11.	Les nouveautés par rapport au travail précédent :	- 25 -
I.11.1.	Dimensions :	- 26 -
II.	Introduction :	- 28 -
II.1.	Description du caisson :	- 28 -
II.2.	Le verre acrylique (Plexiglas) : [7]	- 29 -
II.2.1.	Définition :	- 29 -
II.2.2.	Propriétés de plexiglas v052: [8]	- 30 -
II.3.	Profil en UPN (profil normalisé) : [9]	- 31 -
II.4.	Fers plats + Larges plats : [10].....	- 32 -
II.5.	Etapas de la conception :	- 33 -
II.6.	Conception du caisson par Solidworks :	- 34 -
II.6.1.	Les esquisses :	- 34 -
II.6.1.1.	Créer une esquisse :	- 34 -
II.6.2.	Création du fond bombé:	- 34 -

II.6.2.1.	Fabrication de fonds GRC suivant la norme NF E 81-102:	- 35 -
II.6.2.2.	Décaler:.....	- 36 -
II.6.3.	Créer une pièce de tôlerie:	- 38 -
II.6.3.1.	La symétrie:	- 39 -
II.6.3.2.	La répétition:.....	- 40 -
II.6.3.3.	Répétition linéaire:	- 40 -
II.6.4.	Création du plancher, fers plats et le profilé UPN :	- 41 -
II.6.4.1.	La modélisation volumique:	- 42 -
II.6.4.2.	La répétition linéaire d'esquisse:.....	- 44 -
II.6.5.	Création des portes :	- 45 -
II.6.5.1.	Enlever de la matière :.....	- 47 -
II.6.6.	Création des hublots:	- 51 -
II.6.7.	Création d'une Serrure de transfert de médicaments :.....	- 62 -
II.6.8.	Création des trous des tuyauteries:.....	- 65 -
II.6.9.	Création des supports :	- 68 -
III.	Introduction :	- 72 -
III.1.	Modélisation de la structure par ANSYS :.....	- 72 -
III.2.	Etapas de réalisation du modèle éléments finis :	- 72 -
III.2.1.	Spécification des propriétés des matériaux :.....	- 73 -
III.2.2.	Géométrie :	- 74 -
III.2.3.	Le maillage :	- 75 -
III.3.	Calculs préliminaires	- 77 -
III.3.1.	Conditions aux limites en déplacement :	- 77 -
III.3.2.	Application de la pression :.....	- 77 -
III.4.	Echec de la résolution numérique :.....	- 78 -
III.5.	Conception simplifiée :	- 79 -
III.5.1.	Maillage de la conception simplifiée :	- 81 -
III.5.2.	Conditions aux limites :	- 82 -
III.6.	Résultats :	- 83 -
III.6.1.	Calcul I :	- 83 -
III.6.2.	Calcul II :	- 85 -
III.6.3.	Calcul III :	- 86 -
III.6.4.	Calcul IV :	- 88 -
III.7.	Conclusion :	- 91 -
IV.	Introduction :	- 93 -

IV.1.	Amélioration de la conception :.....	- 93 -
IV.1.1.	Calcul I :.....	- 93 -
IV.1.2.	Calcul II :.....	- 95 -
IV.1.3.	Calcul III :.....	- 96 -
IV.1.4.	Calcul IV :.....	- 98 -
IV.2.	Conclusion :.....	- 100 -
IV.3.	Remarque importante :.....	- 100 -
IV.4.	Déplacement dans la structure :.....	- 100 -
IV.5.	Récapitulation des caractéristiques de la « conception finale » :.....	- 102 -

Liste des figures

Figure	page
CHAPITRE I : Généralisation sur le caisson hyperbare Et nouveautés par rapport au travail précédent	
Figure 1: Caisson hyperbare [6].....	- 18 -
Figure 2: Schéma récapitulatif	- 22 -
Figure 3:Graphe du déroulement de la séance	- 22 -
Figure 4:La production l'air.....	-17-
Figure 5:La filtration d'air.....	- 23 -
Figure 6:Le stockage d'air.....	-17-
Figure 7:Le pupitre de commande.....	- 23 -
Figure 8: Le caisson hyperbare de l'ancienne étude.	- 25 -
Figure 9: Le caisson hyperbare de l'Hôpital général de Vancouver [6].....	- 25 -
Figure 10:Nouvelle conception.....	- 26 -
Figure 11: Photo du Caisson hyperbare [6].	- 26 -
CHAPITRE II : Procédure de la modélisation du caisson avec SolidWorks.	
Figure 12: Propriétés du matériau (plexiglas).....	- 30 -
Figure 13: Profil UPN (profil normalisé).	- 31 -
Figure 14: Fers plats.	- 32 -
Figure 15: Message d'orientation SFU.	- 33 -
Figure 16: Message d'orientation Pacific Grove.	- 33 -
Figure 17: Message d'orientation Reimers.....	- 33 -
Figure 18: Plan de face.	- 34 -
Figure 19: Création du fond bombé.....	- 34 -
Figure 20: fond bombé GRC.....	- 35 -
Figure 21: L'esquisse du fond bombé.....	- 35 -
Figure 22: Décalage des entités du fond bombé.	- 36 -
Figure 23: La forme 3D du fond bombé.....	- 36 -
Figure 24: Convertir les entités.....	- 37 -
Figure 25: Décaler les entités.....	- 37 -
Figure 26: Tôle de base pliée 1.	- 38 -
Figure 27: Tôle de base pliée 2.	- 38 -
Figure 28: Tôle de base pliée 3.	- 39 -

Figure 29: La symetrie du fond bombé.....	- 39 -
Figure 30: Répétition linéaire du fond bombé.	- 40 -
Figure 31: La symetrie du fond bombé.....	- 40 -
Figure 32: Support de plancher [6].....	- 41 -
Figure 33: L'esquisse du plancher.	- 41 -
Figure 34: Création du plancher.....	- 42 -
Figure 35: Création des fers plats.....	- 43 -
Figure 36: Esquisse d'UPN 140.....	- 43 -
Figure 37: La répétition de l'esquisse d'UPN 140.....	- 44 -
Figure 38: Création d'UPN 140.	- 44 -
Figure 39: Cadres des portes [6].	- 45 -
Figure 40: Porte extérieure [6].....	- 45 -
Figure 41: Porte extérieure rectangulaire [6].....	- 45 -
Figure 42: Porte intérieure [6].....	- 46 -
Figure 43: Esquisse de la porte extérieure.	- 46 -
Figure 44: Fonction de base bossage par extrudé de la porte.	- 47 -
Figure 45: Fonction enlèvement de matière extrudé de la porte.....	- 47 -
Figure 46: Esquisse de la porte extérieure.	- 48 -
Figure 47: Fonction de base bossage par extrudé de la porte rectangulaire.	- 48 -
Figure 48: Fonction enlèvement de matière extrudé de la porte rectangulaire.....	- 49 -
Figure 49: Fonction de base bossage par extrudé de la porte circulaire.....	- 49 -
Figure 50: Fonction enlèvement de matière extrudé de la porte circulaire.	- 50 -
Figure 51: Répétition circulaire des trous sur la porte circulaire.....	- 50 -
Figure 52: Créer un esquisse 3D et plan 12.....	- 51 -
Figure 53: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.....	- 51 -
Figure 54: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.....	- 52 -
Figure 55: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.....	- 52 -
Figure 56: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.....	- 53 -
Figure 57: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.....	- 53 -
Figure 58: Répétition circulaire des trous d'hublot.....	- 54 -
Figure 59: Répétition linéaire d'hublot.....	- 54 -
Figure 60: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.....	- 55 -
Figure 61: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.....	- 55 -
Figure 62: Répétition linéaire d'hublot.....	- 56 -
Figure 63: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.....	- 56 -

Figure 64: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.....	- 57 -
Figure 65: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.....	- 57 -
Figure 66: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.....	- 58 -
Figure 67: Répétition linéaire d'hublot.....	- 58 -
Figure 68: Répétition linéaire d'hublot.....	- 59 -
Figure 69: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.....	- 59 -
Figure 70: Fonction d'enlèvement de matière extrudé d'hublot.....	- 60 -
Figure 71: Fonction d'enlèvement de matière extrudé d'hublot.....	- 60 -
Figure 72: Répétition circulaire des trous d'hublot.....	- 61 -
Figure 73: Répétition circulaire des trous d'hublot.....	- 61 -
Figure 74: La serrure de transfert de médicaments [6].....	- 62 -
Figure 75: Fonction de base bossage par extrudé.....	- 62 -
Figure 76: Fonction de base bossage par extrudé.....	- 63 -
Figure 77: Fonction de base bossage par extrudé.....	- 63 -
Figure 78: Fonction de base bossage par extrudé.....	- 64 -
Figure 79: Répétition linéaire.....	- 64 -
Figure 80: Trous des tuyauteries [6].....	- 65 -
Figure 81: Fonction de base bossage par extrudé des trous.....	- 65 -
Figure 82: Répétition circulaire.....	- 66 -
Figure 83: Fonction de base bossage par extrudé de diamètre 70 mm.....	- 66 -
Figure 84: Fonction de base bossage par extrudé de diamètre 100 mm.....	- 67 -
Figure 85: Fonction répétition linéaire et circulaire et déplacer /copier.....	- 67 -
Figure 86: Supports du caisson [6].....	- 68 -
Figure 87: Fonction de base bossage par extrudé de support.....	- 68 -
Figure 88: Fonction de base bossage par extrudé de support.....	- 69 -
Figure 89: Fonction de base bossage par extrudé de support.....	- 69 -
Figure 90: Conception finale.....	- 70 -

CHAPITRE III : Procédure de la modélisation de la structure avec ANSYS et calculs

préliminaire.

Figure 91: Choix du système d'analyse.....	- 72 -
Figure 92: Spécification des propriétés du matériau.....	- 73 -
Figure 93: Edition et ajout des paramètres matériaux.....	- 73 -
Figure 94: Importation de la géométrie.....	- 74 -
Figure 95: La case modèle.....	- 75 -

Figure 96: Menu de maillage.....	- 75 -
Figure 97: Caisson maillé.....	- 76 -
Figure 98: Zoom sur certaines zones mailées.....	- 76 -
Figure 99: Menu d'insertion support fixe.....	- 77 -
Figure 100: Sélection des supports.....	- 77 -
Figure 101: Sélection des faces où appliquer la pression.....	- 78 -
Figure 102: Message signifiant l'échec de la résolution.....	- 79 -
Figure 103: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 1).....	- 79 -
Figure 104: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 2).....	- 79 -
Figure 105: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 3).....	- 80 -
Figure 106: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 4).....	- 80 -
Figure 107: Caisson maillé (conception simplifiée).....	- 81 -
Figure 108: Zoom sur certaines zones mailées (conception simplifiée).....	- 81 -
Figure 109: Calcul I.....	- 82 -
Figure 110: Calcul II.....	- 82 -
Figure 111: Calcul III.....	- 82 -
Figure 112: Calcul IV.....	- 83 -
Figure 113: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul I).....	- 83 -
Figure 114: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul I).....	- 83 -
Figure 115: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul I).....	- 84 -
Figure 116: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul I).....	- 84 -
Figure 117: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul I).....	- 84 -
Figure 118: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul II).....	- 85 -
Figure 119: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul II).....	- 85 -
Figure 120: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul II).....	- 85 -
Figure 121: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul II).....	- 86 -
Figure 122: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul II).....	- 86 -
Figure 123: Contraintes équivalentes dans les deux chambres (Calcul III).....	- 86 -
Figure 124: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul III).....	- 87 -
Figure 125: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul III).....	- 87 -
Figure 126: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul III).....	- 87 -
Figure 127: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul III).....	- 88 -
Figure 128: Contraintes équivalentes dans le caisson (Calcul IV).....	- 88 -
Figure 129: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul IV).....	- 88 -
Figure 130: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul IV).....	- 89 -

Figure 131: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul IV).....	- 89 -
Figure 132: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul IV).....	- 89 -
Figure 133: Zoom sur les zones dangereuses (Calcul I).....	- 90 -

CHAPITRE IV : Calculs pour déterminer la conception finale

Figure 134: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul I conception améliorée). ..	- 93 -
Figure 135: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul I conception améliorée). ..	- 93 -
Figure 136: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul I conception améliorée).....	- 94 -
Figure 137: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul I conception améliorée)....	- 94 -
Figure 138: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul I conception améliorée)....	- 94 -
Figure 139: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul II conception améliorée). .	- 95 -
Figure 140: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul II conception améliorée). .	- 95 -
Figure 141: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul II conception améliorée). ...	- 95 -
Figure 142: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul II conception améliorée). .	- 96 -
Figure 143: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul II conception améliorée)...	- 96 -
Figure 144: Contraintes équivalentes dans les deux chambres (Calcul III conception améliorée).	- 96 -
Figure 145: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul III conception améliorée). -	- 97 -
Figure 146: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul III conception améliorée). ...	- 97 -
Figure 147: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul III conception améliorée). -	- 97 -
Figure 148: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul III conception améliorée). -	- 98 -
Figure 149: Contraintes équivalentes dans le caisson (Calcul IV conception améliorée)...	- 98 -
Figure 150: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul IV conception améliorée). -	- 98 -
Figure 151: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul IV conception améliorée)...	- 99 -
Figure 152: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul IV conception améliorée). -	- 99 -
Figure 153: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul IV conception améliorée). -	- 99 -
Figure 154: Déplacements totaux.....	- 100 -
Figure 155: Déplacements de la structure dans les directions X.	- 101 -
Figure 156: Déplacements de la structure dans les directions Y.	- 101 -
Figure 157: Déplacements de la structure dans les directions Z.....	- 101 -

Liste des tableaux

Tableau	page
Tableau 1: Profil UPN (profil normalisé).....	- 31 -
Tableau 2: Fers plats (profil normalisé).....	- 32 -
Tableau 3: fond bombé GRC.....	- 35 -
Tableau 4: Dimensions d'UPN 140.....	- 43 -
Tableau 05: Les caractéristiques mécaniques des matériaux.....	- 74 -
Tableau 06: Le nombre total d'éléments et de nœuds.....	- 75 -
Tableau 7: Dimensions préliminaires du caisson.....	- 78 -
Tableau 08: Le nombre total d'éléments et de nœuds (conception simplifiée).....	- 81 -
Tableau 9: Les résultats obtenus pour la première modélisation.....	- 90 -
Tableau 10: Les résultats obtenus pour la conception améliorée.....	- 100 -

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le caisson (ou chambre) hyperbare est une enceinte en acier de forme cylindrique, étanche et résistante à la pression. Il est utilisé en médecine, dans le cas d'une oxygénothérapie hyperbare (parfois suite à un accident de décompression).

Dans un précédent travail, BENZIANE Yassine [5] a proposé une conception d'un caisson hyperbare. Mais cette conception présente plusieurs insuffisances.

L'objectif de notre travail est d'améliorer le travail précédemment effectué en proposant une conception plus élaborée basée sur un document, trouvé sur internet, du caisson hyperbare de l'hôpital général de Vancouver. Nous avons aussi effectué le dimensionnement du caisson à l'aide d'un calcul éléments finis en utilisant le logiciel ANSYS. Nous avons utilisé la version n° 15.0 du logiciel. Nous présenterons les détails de notre travail dans ce mémoire en le divisant en cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des caissons hyperbares, leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs installations. Nous présenterons également une définition de l'OHB (Oxygénothérapie Hyper-bare), ses domaines d'utilisation, les risques d'utilisation et son homologation. Nous terminons ce chapitre par la présentation de la conception proposée par BENZIANE Yassine [5], en mettant en évidence les défauts constatés. Nous présenterons également les nouveautés introduites dans notre travail.
- Le deuxième chapitre présente la procédure détaillée de la conception géométrique du caisson à l'aide du logiciel SOLIDWORKS. Cette première conception est basée sur notre propre évaluation des besoins du malade et du soignant, sur le travail de BENZIANE Yassine ainsi que sur des documents décrivant le caisson de l'hôpital général de Vancouver [6].
- Nous présentons dans le troisième chapitre la procédure de modélisation avec ANSYS. La résolution numérique a échoué à cause de la complexité de la première conception. Nous présentons donc dans ce chapitre la conception simplifiée qui sera utilisée pour les calculs. Elle a été soumise à un premier test numérique qui a mis en évidence ses insuffisances.
- Nous présenterons dans le quatrième chapitre, les améliorations apportées à la conception initiale pour aboutir à la conception finale. Nous validons cette dernière conception en présentant les résultats des calculs effectués.
- Nous terminerons par une conclusion générale.

CHAPITRE I
GENERALISATION SUR LE CAISSON HYPERBARE
ET NOUVEAUTÉS PAR RAPPORT AU TRAVAIL
PRÉCÉDENT

I. Définition d'un caisson hyperbare : [1]

Le caisson hyperbare (également appelé caisson de décompression, ou chambre hyperbare), est une installation médicotechnique étanche permettant d'exposer ses usagers et malades à une pression supra-atmosphérique par rapport à l'extérieur. Lors d'un traitement hyperbare, l'installation permet de distribuer un médicament le plus souvent à travers un masque (Ce médicament est souvent un gaz thérapeutique, comme l'air médical, ou l'oxygène médical, ou encore un mélange de gaz médicinaux, HélioX, Nitrox) la plupart du temps sélectionnable depuis l'extérieur de l'enceinte hyperbare par un opérateur hyperbare selon un protocole établi à l'avance.

Ce type d'installation est utilisé dans les accidents de décompression touchant les plongeurs ou pour soigner différentes maladies comme l'intoxication au CO₂ ou une embolie gazeuse.

I.1. Définition de l'oxygénothérapie hyperbare(OHB) : [2]

L'oxygénothérapie hyperbare est une technique médicale qui consiste à administrer à des patients de l'oxygène pur ou mélangé à des gaz vecteurs (hélium, azote, gaz carbonique) à une pression partielle supérieure à la pression atmosphérique. Elle permet une réversibilité physique des effets délétères grâce à une compression des volumes gazeux, une augmentation de l'oxygène dissous et l'absence d'inhalation d'azote.

L'oxygénothérapie hyperbare (OHB) est une thérapeutique très spécifique, irremplaçable dans certaines pathologies, et fort utile dans d'autres, parfois en urgence. Sa mise en œuvre nécessite des moyens techniques tout à fait particuliers, tant sur le plan matériel que sur celui du personnel.



Figure 1: Caisson hyperbare [6].

I.2. Historique : [2]

Dès 1662, l'idée d'une application thérapeutique d'un séjour en pression sèche revient au londonien le Dr Henshaw, qui faisait respirer de l'air comprimé à ses patients à l'intérieur d'une chambre appelée « domicilium ». On sait peu de choses sur les résultats obtenus car à l'époque cela n'intéressait personne. En 1959, une première approche vraiment scientifique de l'oxygénothérapie hyperbare se fait avec Boerema en chirurgie cardiaque et Brummelkamp dans le traitement de la gangrène gazeuse en 1961. A compter de cette date, de nombreux auteurs, en France et à l'étranger, s'intéressent à cette nouvelle thérapeutique pleine de promesses. Citons Barthelemy à Toulon, Goulon à Garches, le Pr Larcan à Nancy, Mantz à Strasbourg, Ohresser à Marseille, Voisin et Wattel à Lille, Lareng à Toulouse, Du Caillar à Montpellier, et bien d'autres réanimateurs encore qui ont permis de définir les indications de cette thérapeutique avec une évaluation objective des résultats.

I.3. INCIDENCE DES VARIATIONS DE PRESSION : [3]

Le facteur principal influant sur l'organisme humain en plongée est la pression exercée par l'eau. Celle-ci augmente avec la profondeur : alors que nous sommes soumis à une pression d'environ 1 bar à l'air libre au niveau de la mer (pression atmosphérique), le poids de l'eau au-dessus du plongeur immergé soumet celui-ci à une pression additionnelle d'environ 1 bar tous les 10 mètres.

Par exemple, à 25 mètres de profondeur, un plongeur est soumis à 3,5 bars de pression totale (1 bar de pression atmosphérique et 2,5 bars de pression hydrostatique); cette pression inhabituelle pour un être humain adapté au milieu terrestre va provoquer différents phénomènes, que le plongeur doit connaître et gérer sous peine de mettre sa santé (voire sa vie) en danger.

La majeure partie du corps humain, composée de liquides/solides incompressibles, n'est pas directement affectée par les variations de pression. En revanche, l'air contenu dans les différentes cavités du corps (oreille moyenne, sinus, appareil respiratoire...) voit son volume varier de manière inversement proportionnelle à la pression ambiante, suivant la loi de Boyle-Mariotte.

Les accidents dus aux variations anormales de pressions dans les organes creux sont appelés des barotraumatismes. Ceux-ci touchent les différentes cavités en contact avec l'air inspiré : oreilles, sinus, dents, intestin, mais aussi l'espace situé entre le masque et le visage.

Lors de la descente, l'air contenu dans l'oreille moyenne du plongeur est en dépression par rapport au milieu ambiant, ce qui crée une déformation du tympan. Le plongeur doit volontairement insuffler de l'air dans son oreille moyenne *via* les trompes d'Eustache, afin d'éviter toute déchirure ou douleur. Il existe plusieurs manœuvres d'équilibrage, la plus répandue consiste à se pincer le nez et à souffler légèrement bouche fermée (procédé dit de Valsalva).

Lors de la remontée, l'air contenu dans les poumons du plongeur se dilate. Si le plongeur n'est pas attentif et n'expire pas ou pas assez (en cas d'apnée involontaire, de panique, de remontée trop rapide...), la surpression pulmonaire ainsi créée peut entraîner des lésions graves.

Le vertige alterno-barique est dû à une différence de pression entre les deux oreilles moyennes. L'appareil vestibulaire sert à donner au cerveau des informations concernant sa position dans l'espace. Lorsqu'il y a une pression gazeuse sur la paroi de l'appareil vestibulaire, celle-ci change les informations. S'il y a une différence de pression entre les deux oreilles moyennes, le cerveau reçoit des données contradictoires qu'il ne sait pas interpréter.

Le plongeur a donc un vertige, souvent passager de 30 secondes à quelques minutes, qui peuvent être mortel en cas de panique. Il perd en effet tout repère spatial, et ne peut pas dans l'eau se réorienter sur des repères visuels.

Le troisième effet de l'augmentation de la pression sur le plongeur concerne l'impact des gaz respirés sur l'organisme.

Pour les pressions rencontrées en plongée sous-marine, les gaz respirés se comportent comme des gaz parfaits, et obéissent donc à la loi de Dalton.

L'augmentation de la pression partielle a des effets différents en fonction du gaz.

L'augmentation de la pression ambiante cause la dissolution des gaz.

Lorsqu'un gaz se trouve en contact avec un liquide, il va s'y dissoudre progressivement jusqu'à atteindre une limite *proportionnelle à la pression* et dépendant des caractéristiques du gaz et du liquide en matière de solubilité, suivant la loi de Henry. Si la pression augmente, de plus en plus de gaz se dissout dans le liquide. Si la pression diminue doucement, du gaz reflue vers la limite du liquide sous forme dissoute ou de microbulles. Si la pression diminue très rapidement, le gaz s'échappe de manière explosive et forme des bulles au sein du liquide (exemple de la bouteille de soda au moment de l'ouverture). Le corps humain est essentiellement constitué de liquide, et est donc soumis au même phénomène d'absorption et de restitution des gaz.

Ces phénomènes ont été modélisés empiriquement, afin de proposer au plongeur des *procédures de décompression* en fonction de sa plongée. Ces procédures limitent la vitesse de remontée (entre 6 et 18 mètres par minute en fonction des procédures), et imposent des paliers (des temps d'attente sans remonter). Les procédures de décompression sont soit décrites sous forme de tables, soit implantées dans un ordinateur de plongée.

I.4. Principe physique de l'oxygénothérapie hyperbare : [5]

I.4.1. Compression des volumes gazeux par augmentation de la pression ambiante :

C'est l'application de la classique loi de Boyle - Mariotte qui établit la relation entre la pression et le volume d'un gaz ou d'un mélange de gaz parfaits :

Pression $P \times$ Volume $V =$ constante

La pression P est exprimée en pression absolue par référence au vide. Pour éviter toute confusion avec la mesure relative de la pression par référence à la pression atmosphérique, il est habituel d'utiliser en médecine hyperbare, le terme ATA qui représente l'atmosphère absolue et non le Pascal (Pa) ou son sous-multiple, l'hectopascal (hPa) comme le recommande le Système International (SI).

1 ATA = pression atmosphérique = 1 013 hPa = 0 bar relatif

2 ATA = pression sous 10 mètres d'eau = 2 026 hPa = 1 bar relatif

Toute augmentation de pression se traduit par une réduction du volume apparent du gaz.

Ainsi, à 2 ATA, le volume est réduit de 50 % et à 7 ATA (pression habituellement limite des installations hyperbares) le volume apparent n'est plus que de 14 % environ. Cet effet mécanique est mis à profit dans le traitement des embolies gazeuses, des accidents de décompression ou de la pneumatose kystique intestinale. En revanche, il est la cause des barotraumatismes, en particulier au niveau du tympan, des sinus, des dents ou du tube digestif. Une attention particulière doit être apportée aux patients présentant ou susceptibles de présenter un pneumothorax ou un pneumo médiastin.

I.4.2. Mécanismes d'actions : [2]

Les mécanismes physiologiques expliquant l'intérêt de l'oxygénothérapie hyperbare reposent sur 2 grandes lois : les lois de Mariotte et de Henry qui permettent de comprendre pourquoi il va y avoir une augmentation de l'oxygénation des tissus.

- Loi de Mariotte

$PV = \text{CONSTANTE}$ (à température constante)

P : pression V : volume

Exemple : une seringue remplie d'air. Quand on pousse le piston (embout bouché), la pression P de l'air augmente et le volume V de l'air diminue. Intéressant, notamment lors d'embolies gazeuses, si on augmente la pression dans la chambre hyperbare le volume de la bulle va diminuer et les signes cliniques vont régresser.

- Loi de Henry

$Q = a P$

Q : quantité de gaz dissout

a : constante des gaz parfaits

P : pression

Ceci permettant de comprendre pourquoi il va y avoir une augmentation de l'O₂ dissoute dans le sang.

Exemple : seringue remplie d'eau + air. Quand on pousse sur le piston (embout bouché) la pression P dans la seringue augmente et la quantité d'air dissoute dans l'eau va augmenter. Si vous lâchez brusquement le piston vous pourrez voir l'eau devenir bulleuse un court moment (le même mécanisme se produit lors d'un accident de décompression chez un plongeur qui ne respecte pas les paliers de décompression).

La pression maximale que supporte le caisson en fonctionnement est de 7 bars.

Schéma récapitulatif des phénomènes provoqués par l'inhalation d'oxygène à une pression supérieure à la pression atmosphérique

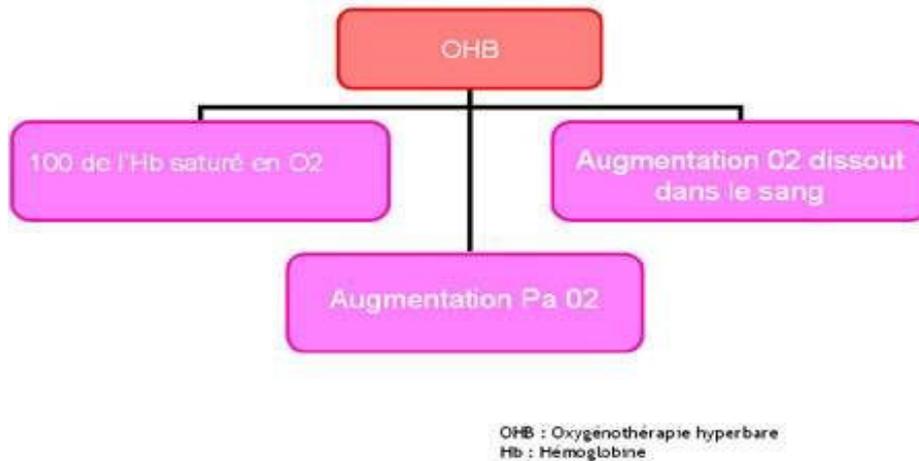


Figure 2: Schéma récapitulatif

I.5. Déroulement d'une séance:[2]

Il y a une phase de compression correspondant à une entrée d'air dans le caisson qui est fermé hermétiquement. Le patient conscient qui vient pour une série de plusieurs plongées respire l'air ambiant. Lorsque suffisamment d'air est entré dans le caisson pour atteindre la pression souhaitée, le patient va mettre un masque permettant d'inhaler 100% d'oxygène. Ce masque possède un extracteur permettant d'évacuer les gaz expirés hors du caisson, afin de conserver l'air à l'intérieur du caisson à 21% d'oxygène. La pression va rester constante pendant tout le palier. Lorsque le temps d'inhalation prescrit est atteint, les patients retirent les masques à O₂ et la phase de décompression peut débuter. Cette phase sera coupée par les paliers de sécurité nécessaires. Le patient respire de l'oxygène pur à l'intérieur du caisson et une pression supérieure à celle de l'atmosphère lui est appliquée. L'augmentation de la pression à l'intérieur des cloisons étanches impose des aménagements. En effet, les appareils de mesure habituels ne supporteraient pas une telle pression. Voilà pourquoi seuls les capteurs sont à l'intérieur et les moniteurs restent à l'extérieur.

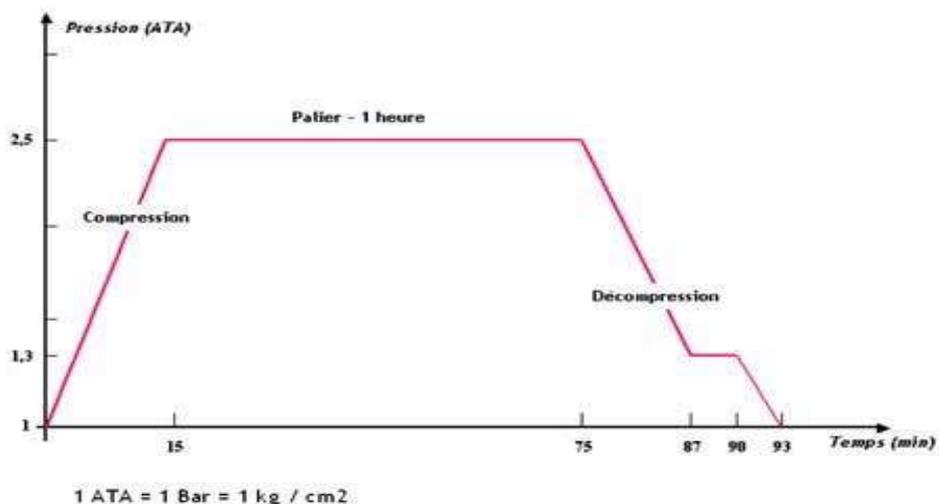


Figure 3: Graphe du déroulement de la séance

I.6. Présentation d'une installation hyperbare : [4]



Figure 4: La production d'air



Figure 5: La filtration d'air



Figure 6: Le stockage d'air



Figure 7: Le pupitre de commande

I.7. Homologation des chambres hyperbares et des dispositifs médicaux (DM) utilisés : [4]

a) L'oxygène est un phénomène dangereux « potentiel ».

- RISQUES :

La pression partielle élevée et le pourcentage d'oxygène dans l'atmosphère de la chambre hyperbare, associés avec un produit combustible, avec une source d'inflammation aggrave le risque d'incendie.

- RECOMMANDATIONS :

Avant d'installer un DM dans une chambre il faut :

- S'assurer que le DM ne contient aucun lubrifiant incompatible avec une atmosphère enrichie en O₂ ;
- S'assurer qu'il n'est pas composé de matériaux facilement inflammables et qu'il ne contient pas de produits inflammables tels que gel, alcool, éther, etc.

b) L'électricité est un phénomène dangereux « potentiel ».

- RISQUES :
- La source d'inflammation telle que la production d'étincelles pour une raison quelconque ou la surchauffe associée.
- RECOMMANDATIONS :
 - Il convient qu'une condition de premier défaut ne donne pas lieu à un phénomène dangereux.
 - Il convient que les DM n'entraînent aucun risque d'inflammation.
 - Utiliser des DM à basse énergie (basse tension, courant faible).
 - Placer les sources d'énergies des dispositifs à l'intérieure de la chambre.

c) La pression est un phénomène dangereux « potentiel ».

- RISQUES :
 - Ecrasement, implosion ou explosion de certains composants sous l'effet de la variation de pression avec des effets secondaires tels risques de pannes, de court-circuit, etc.
 - Altération des mesures enregistrées par les capteurs.
 - Altération des valeurs affichées.
 - Altération des débits et de la fréquence à laquelle le dispositif dispense les produits médicaux aux patients.
 - Au moment de la décompression, une éventuelle formation de bulles de gaz dans les liquides contenus dans le DM.
- RECOMMANDATIONS :

Avant d'installer un DM dans une chambre il faut :

 - S'assurer qu'il ne contient aucun comprimé à pression atmosphérique fermé et que la pression dans tous les compartiments du DM est équivalente à celle de l'environnement ou qu'il est **résistant à la pression** ;
 - S'assurer que les performances des capteurs du DM ne sont pas altérées ou peuvent être rectifiées ;
 - S'assurer que le fonctionnement des composants électroniques intégrés dans le DM n'est pas altéré ;
 - S'assurer que les débits, les pressions et les fréquences auxquelles le DM délivre les produits aux patients ne sont pas altérés ou au moins évalués avec précision.

I.8. Nouveautés par rapport au travail précédent :

I.9. Introduction :

L'objectif de ce chapitre, est de présenter les insuffisances de la précédente conception effectuée par notre collègue BENZIANE Yassine [5]. Nous présenterons également les nouveautés introduites dans notre travail.

I.10. Insuffisances de la conception précédente :

Les principales insuffisances de la précédente conception sont les suivantes :

- Existence d'une seule chambre.
- L'absence des trous de tuyauteries.
- L'insuffisance du nombre d'hublots.
- L'insuffisance du nombre de portes.
- La longueur est insuffisante pour ajouter une chambre (**5,4 m** de longueur).

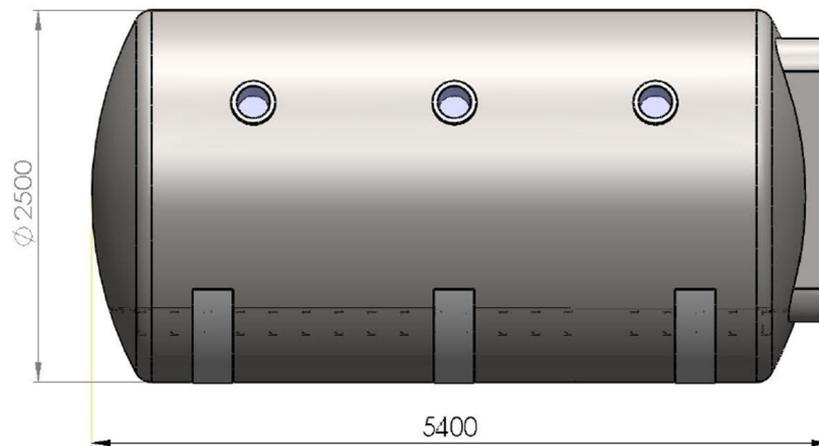


Figure 8: Le caisson hyperbare de l'ancienne étude.

I.11. Les nouveautés par rapport au travail précédent :

Le travail précédent [5] est basé sur une description du caisson hyperbare de l'Hôpital général de Vancouver [6] (Figure 9). Nous avons amélioré le caisson cité ci-dessus en faisant des recherches sur internet.



Figure 9: Le caisson hyperbare de l'Hôpital général de Vancouver [6]

I.11.1. Dimensions :

Dans l'ancienne conception [5] le diamètre du caisson est de 2.5m et la longueur est de 5.4 m. Afin de pouvoir ajouter une chambre, nous avons modifié la longueur passant à 8.184m, tout en conservant le même diamètre. Les détails ont été repris des photos du caisson [5]

Nous avons également apporté les modifications suivantes :

- Ajout d'une chambre principale.
- Ajout de portes et de hublots.
- Ajout des trous de tuyauteries.
- Le caisson nécessite deux supports (Figure 11) au lieu de trois dans la conception précédente (Figure 8)

Nous présentons sur la Figure 10 notre nouvelle conception et une photo du caisson sur la Figure 11 à titre comparatif.

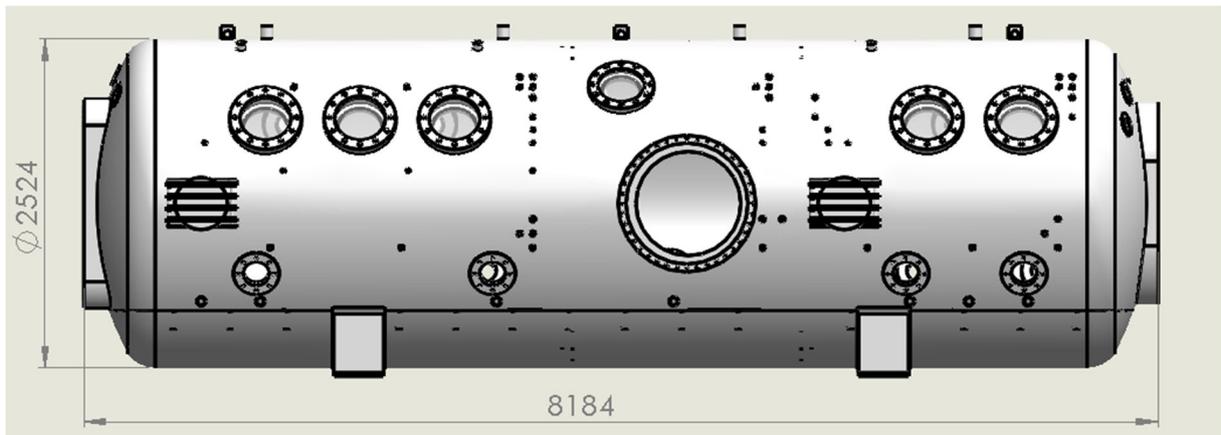


Figure 10:Nouvelle conception.



Figure 11: Photo du Caisson hyperbare [6].

CHAPITRE II
PROCÉDURE DE LA MODÉLISATION DU CAISSON
AVEC SOLIDWORKS

II. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons la conception du caisson par SOLIDWORKS.

Les dimensions du caisson ont été proposées par nous-même.

II.1.Description du caisson :

L'enceinte métallique du caisson est en acier E36 [5]. Le verre pour les hublots est le verre acrylique V052, dont les propriétés sont présentées ci-après. La longueur du caisson est de **8.184 mètres** et le diamètre de **2,5 mètres**. Il est conçu pour recevoir un maximum de onze patients, dont un alité et dix chaises. Nous présenterons ci-dessous nos estimations pour les différentes dimensions des composants :

- Nous estimons les dimensions de la porte extérieure (Figure 40) à **800 mm** de largeur et **1.450 mètre** de hauteur, et ceux de la porte rectangulaire (Figure 41) à **950 mm** de largeur et **1.50 mètre** de hauteur.
- Les dimensions des portes intérieures (Figure 42) sont de **1 mètre** de diamètre.
- L'épaisseur de la tôle est de **12 mm**.
- L'épaisseur du verre acrylique pour les hublots est de **40 mm**.
- La distance entre le plancher et le centre du caisson est de **800mm**.
- L'épaisseur du plancher est de **8mm**.
- Nous avons choisi le profilé UPN 140 et le fer plat (Tableaux 1,2). Pour le support du plancher (Figure32)

II.2.Le verre acrylique (Plexiglas) : [7]

II.2.1.Définition :

Le **plexiglas (ou PMMA)**, de nom chimique: poly méthacrylate de méthyle, est une matière plastique du groupe des résines acryliques, inventée par Bradel à la fin du 18ème siècle. Ce polymère est un **thermoplastique transparent** issu du monomère: méthacrylate de méthyle (MAM).

Le nom **plexiglas** est un nom commercial déposé. En effet, c'est le nom de commercialisation en Amérique, et **Altuglas** est le nom de commercialisation en Europe, Asie, Afrique, et au Moyen-Orient.

Ce polymère existe également sous d'autres noms tels que **plastique acrylique, verre acrylique, PMMA, plexi ...**

D'après la Figure 12. On voit que l'unité des valeurs de la limite d'élasticité et de module de Young est en psi. Qui a été converti en MPa.

Densité : 1190 kg/m³

Limite d'élasticité : 10200 Psi = 70,3 MPa

Module de Young : 450000 Psi = 3100 MPa

On a estimé que le coefficient de poisson est de 0.3 car on n'a pas trouvé sa valeur sur internet.

II.2.2. Propriétés de plexiglas v052: [8]

PLEXIGLAS® V052			
Feb 2018			
ACRYLIC RESIN			
Typical Properties			
	Value	Units	Test method
Physical			
Melt Flow Rate (230°C/3.8 kg)	2.8	g/10 min	ASTM D1238
Specific Gravity	1.19	–	ASTM D792
Mold Shrinkage	0.2 - 0.6	%	ASTM D955
Water Absorption (24 hr immersion)	0.3	% weight gain	ASTM D570
Mechanical			
Tensile Strength @ Maximum	10,200	psi	ASTM D638
Tensile Elongation @ Break	6	%	ASTM D638
Tensile Modulus	450,000	psi	ASTM D638
Flexural Strength @ Maximum	15,000	psi	ASTM D790
Flexural Modulus	450,000	psi	ASTM D790
Notched Izod Impact (73°F)	0.3	ft-lb/in notch	ASTM D256
Rockwell Hardness	91	M-scale	ASTM D785
Thermal			
HDT (66 psi; annealed) ¹	202	°F	ASTM D648
HDT (264 psi; annealed) ¹	199	°F	ASTM D648
Vicat Softening Point (122°F/hr; 2.2 lbs)	217	°F	ASTM D1525
Vicat Softening Point (122°F/hr; 11.2 lbs)	207	°F	ASTM D1525
Thermal Conductivity	1.3	BTU/hr*ft ² *F/in	ASTM C177
Flammability	HB	Class	ASTM UL94
Optical			
Refractive Index (N _d @ 72°F)	1.49	–	ASTM D542
Luminous Transmittance (0.125")	92	%	ASTM D1003
Haze (0.125 in/3.2 mm)	<1	%	ASTM D1003
Classification			
ASTM Classification		PMMA 0131V2	ASTM D788

Figure 12: Propriétés du matériau (plexiglas).

II.3.Profil en UPN (profil normalisé) : [9]

Dimensions: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986.

Tolérances: EN 10279: 2000.

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1.

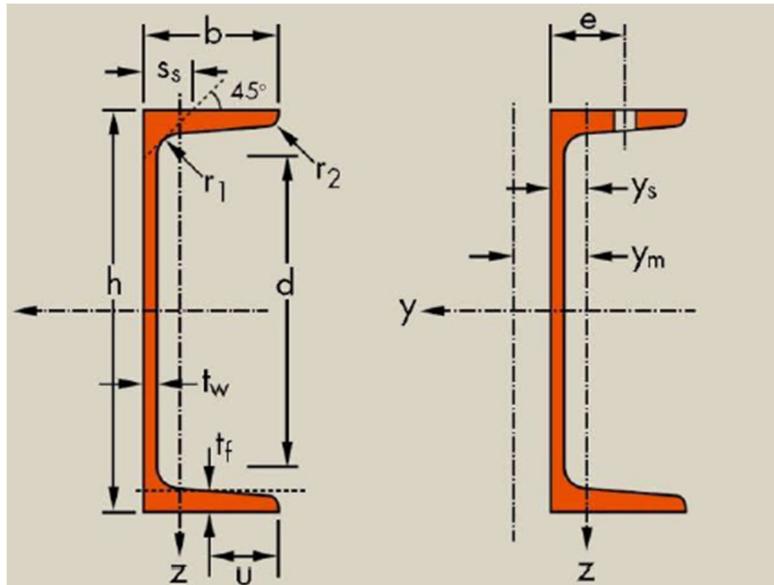


Figure 13: Profil UPN (profil normalisé).

Désignation	Dimensions							Dimension s de construc tion A mm ² x10 ²	Dimension s de construc tion D Mm	Surface	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w Mm	T _f Mm	r 1 Mm	r 2 mm			AL m ² /m	AG m ² /t
UPN 80	8,64	80	45	6,0	8,0	8,0	4,0	11,0	47	0,312	37,10
UPN 100	10,6	100	50	6,0	8,5	8,5	4,5	13,5	64	0,372	35,10
UPN120	13,4	120	55	7,0	9,0	9,0	4,5	17,0	82	0,434	32,52
UPN140	16,0	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	20,4	98	0,489	30,54
UPN 160	18,8	160	64	7,5	10,5	10,5	5,5	24,0	115	0,546	28,98

Tableau 1: Profil UPN (profil normalisé).

II.4.Fers plats + Larges plats : [10]

Dimensions: AM Standard et EN 10058: 2003 (Fers plats).

Tolérances: EN 10058: 2003 (Fers plats).

AM Standard Larges plats.

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1.

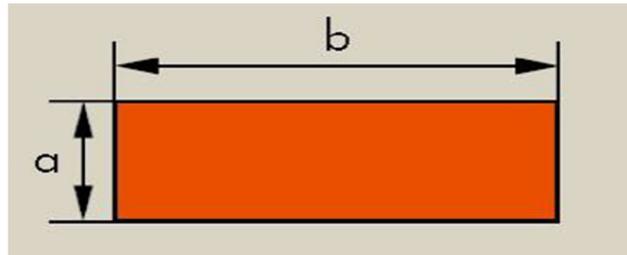


Figure 14: Fers plats.

	Largeur b mm	Epaisseur a mm																
		5	6	7	8	10	12	14	15	16	18	20	25	30	35	40	45	50
Masse kg/m	20	0,785	0,942	1,10	1,26	1,57	1,88	2,20	2,36									
	25	0,981	1,18	1,37	1,57	1,96	2,36	2,75	2,94	3,14	3,53							
	30	1,18	1,41	1,65	1,88	2,36	2,83	3,30	3,53	3,77	4,24	4,71						
	35	1,37	1,65	1,92	2,20	2,75	3,30	3,85	4,12	4,40	4,95	5,50	6,87					
	40	1,57	1,88	2,20	2,51	3,14	3,77	4,40	4,71	5,02	5,65	6,28	7,85	9,42				
	45	1,77	2,12	2,47	2,83	3,53	4,24	4,95	5,30	5,65	6,36	7,07	8,83	10,6				
	50	1,96	2,36	2,75	3,14	3,93	4,71	5,50	5,89	6,28	7,07	7,85	9,81	11,8	13,7			
	55	2,16	2,59	3,02	3,45	4,32	5,18	6,04	6,48	6,91	7,77	8,64	10,8	13,0	15,1			
	60	2,36	2,83	3,30	3,77	4,71	5,65	6,59	7,07	7,54	8,48	9,42	11,8	14,1	16,5	18,8		
	65	2,55	3,06	3,57	4,08	5,10	6,12	7,14	7,65	8,16	9,18	10,2	12,8	15,3	17,9	20,4	23,0	
	70	2,75	3,30	3,85	4,40	5,50	6,59	7,69	8,24	8,79	9,89	11,0	13,7	16,5	19,2	22,0	24,7	27,5
	75	2,94	3,53		4,71	5,89	7,07		8,83	9,42		11,8	14,7	17,7	20,6	23,6		
	80	3,14	3,77	4,40	5,02	6,28	7,54	8,79	9,42	10,0	11,3	12,6	15,7	18,8	22,0	25,1	28,3	31,4
90	3,53	4,24	4,95	5,65	7,07	8,48	9,89	10,6	11,3	12,7	14,1	17,7	21,2	24,7	28,3	31,8	35,3	

Tableau 2: Fers plats (profil normalisé).

II.5. Etapes de la conception :

La conception a été réalisée en suivant les descriptions du document téléchargé sur internet [6].

Grace à nos recherches sur internet, nous sommes entrés en contact avec une firme spécialisée dans le domaine (chambre hyperbare), qui nous a assisté et orienté.

Ci-joints quelques exemples de messages d'orientation :

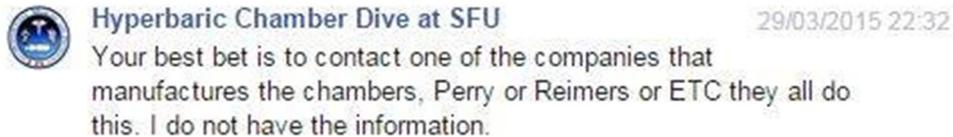


Figure 15: Message d'orientation SFU.

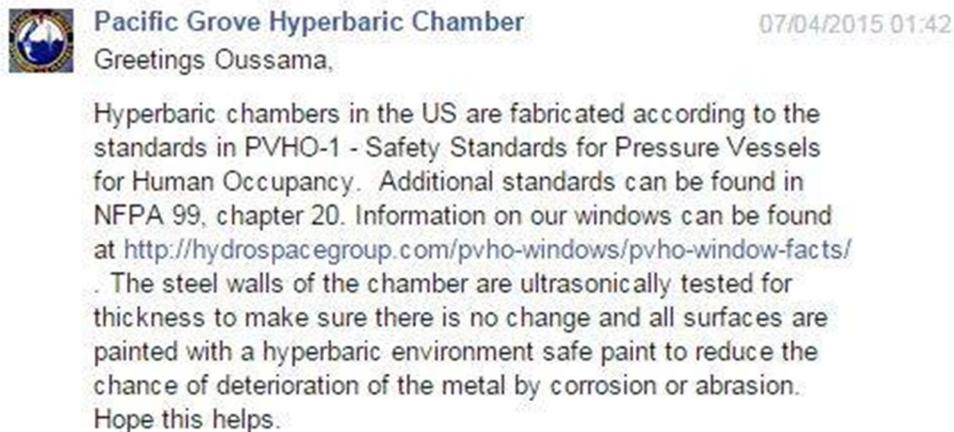


Figure 16: Message d'orientation Pacific Grove.

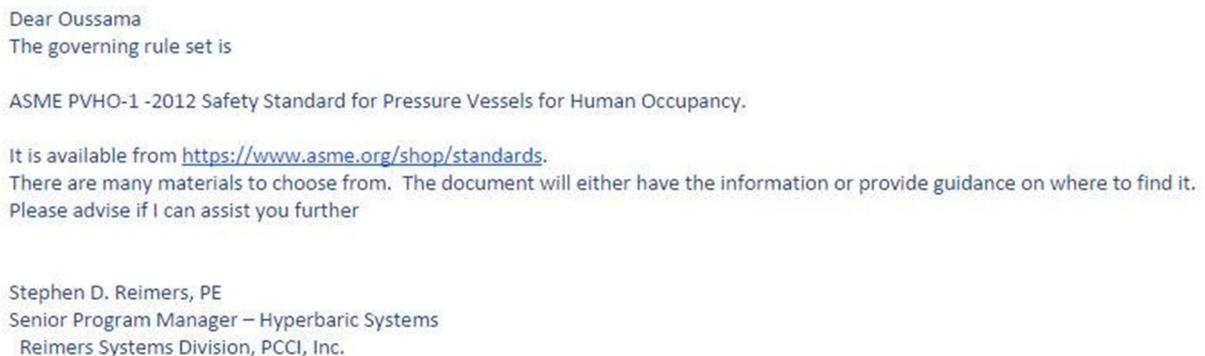


Figure 17: Message d'orientation Reimers.

II.6. Conception du caisson par Solidworks :

II.6.1. Les esquisses :

Les esquisses sont des petits "dessins" qui donnent le profil de la pièce, Il existe des esquisses 2D (sur un plan, une face) et des esquisses 3D.

II.6.1.1. Créer une esquisse :

Au niveau du bandeau principal, vous remarquerez les onglets : "Fonctions", Esquisse", etc. Cliquez donc sur l'onglet "Esquisse".

Au début de la conception de notre pièce, nous avons 3 plans qui nous sont proposés : Plan de face; Plan de dessus; Plan de droite.

- Nous avons choisi le plan de face (Figure 18).

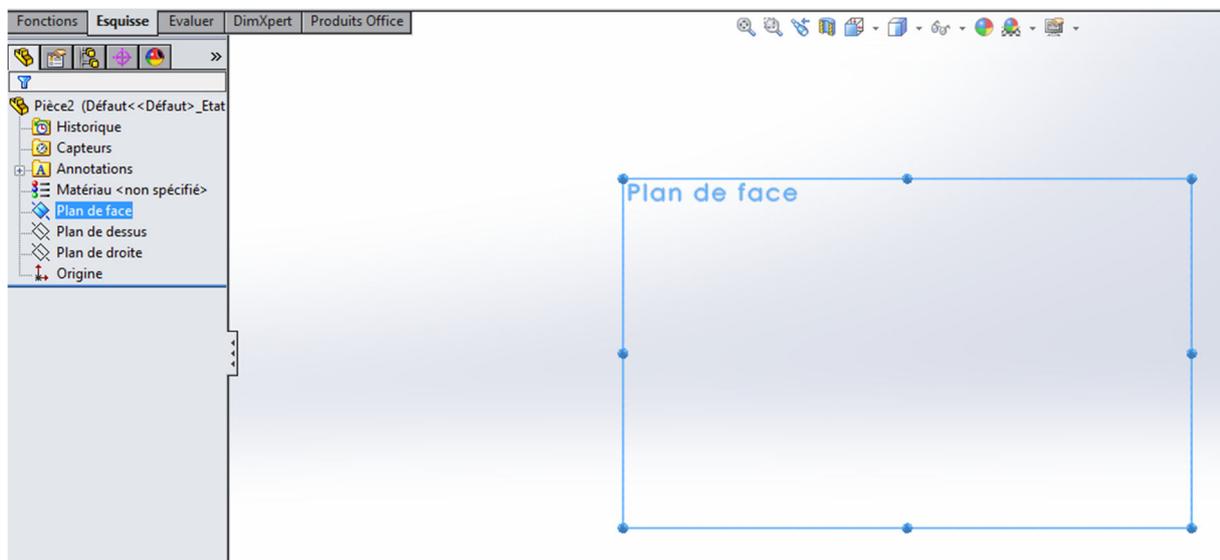


Figure 18: Plan de face.

II.6.2. Création du fond bombé:



Figure 19: Création du fond bombé.

- Dans le plan de face, nous dessinerons l'esquisse du fond bombé du caisson et nous spécifierons toutes les dimensions nécessaires (Figure 21) :

II.6.2.1. Fabrication de fonds GRC suivant la norme NF E 81-102:

De (mm)	E (mm)	Rf (mm)	Rc (mm)	h (mm)	H (mm)	S (dm ²)	Mth (kg)	V (l)
2500	12	2500	250	55	479	653	521	1757

Tableau 3: fond bombé GRC.

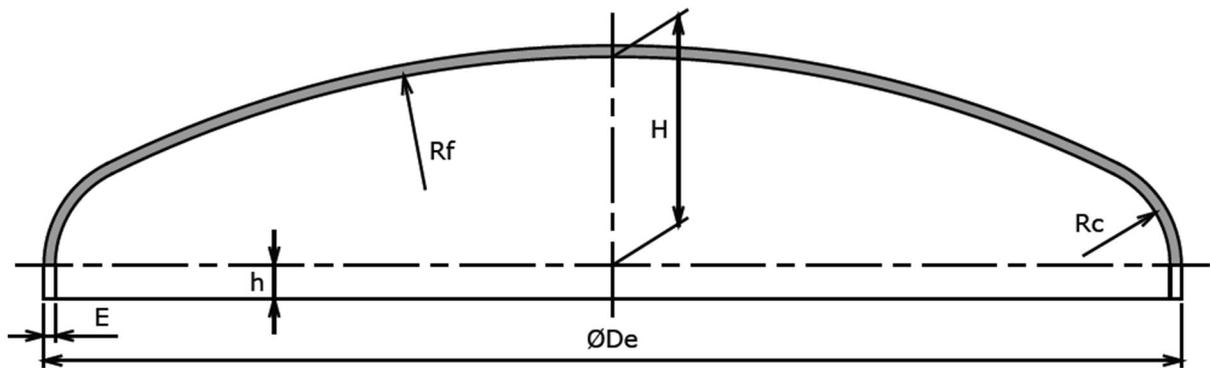


Figure 20: fond bombé GRC.

- L'esquisse du fond bombé

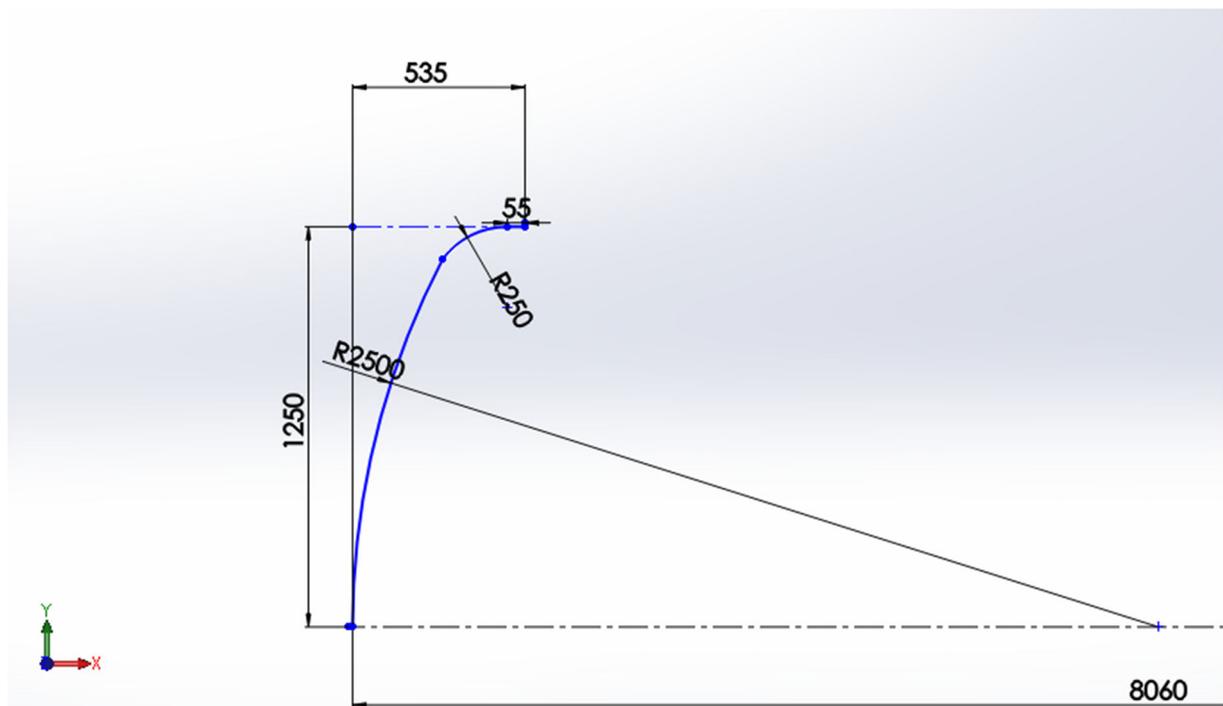


Figure 21: L'esquisse du fond bombé.

II.6.2.2. Décaler:

L'outil "Décaler" permet de créer un contour à l'intérieur ou à l'extérieur de votre contour original : Cliquez donc sur l'onglet "Esquisse", de nouveaux boutons apparaissent, on clique sur "Décaler les entités".

Un contour jaune apparaît, vous donnant ainsi une idée du contour que vous voulez ajouter.

Sur le panneau à gauche, vous pouvez changer la distance de décalage (ici 12mm) ou encore inverser la direction du contour (intérieur ou extérieur) (Figure 22).

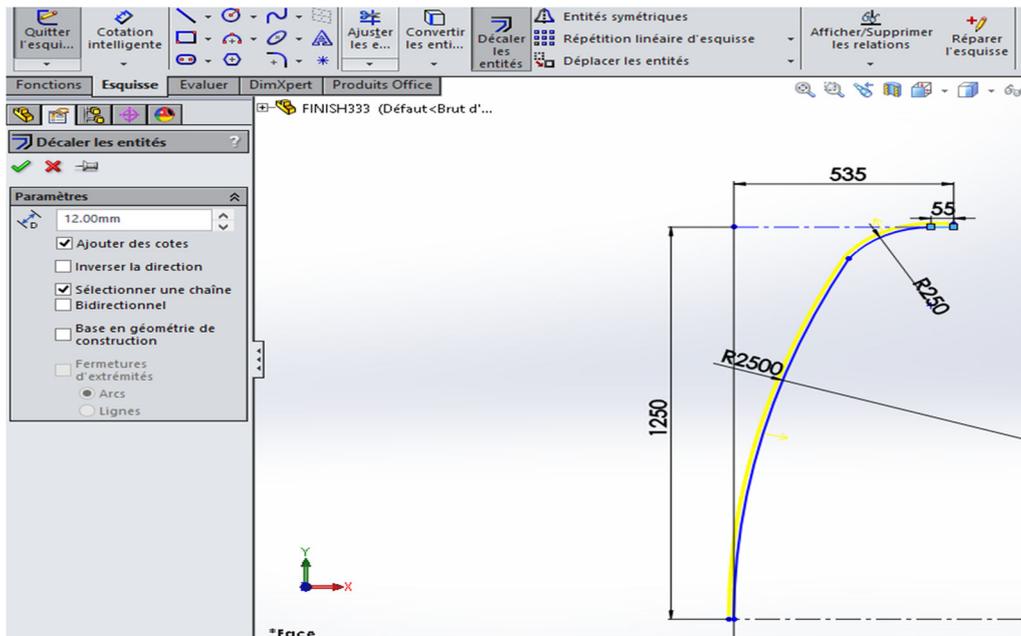


Figure 22: Décalage des entités du fond bombé.

- Pour donner à l'esquisse la forme 3D du fond bombé, nous utilisons la fonction bossage avec révolution (Figure 23).

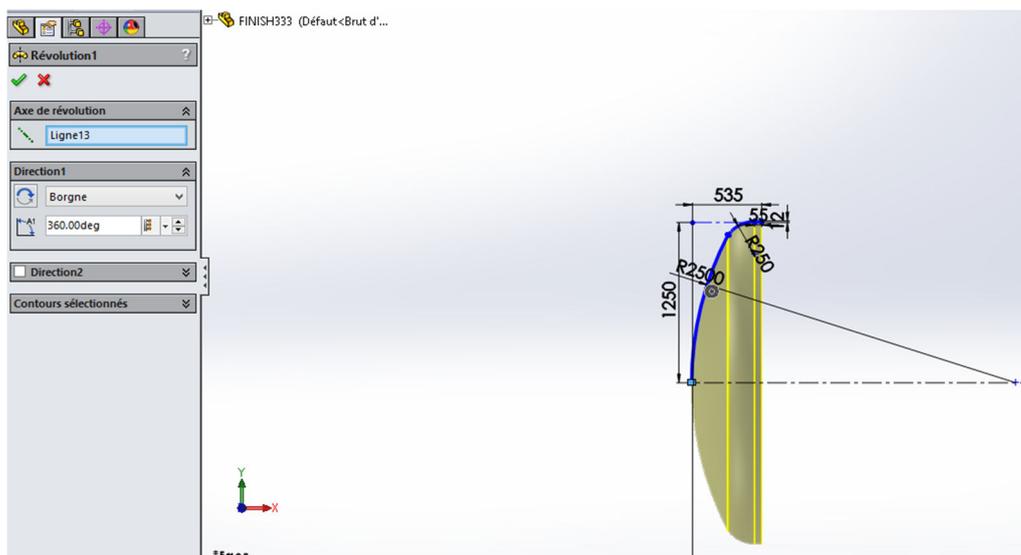


Figure 23: La forme 3D du fond bombé.

- Nous travaillerons sur l'esquisse sélectionnée, puis il va falloir cliquer sur " convertir les entités " pour permettre de convertir un profil de surface en une esquisse (Figure 24).

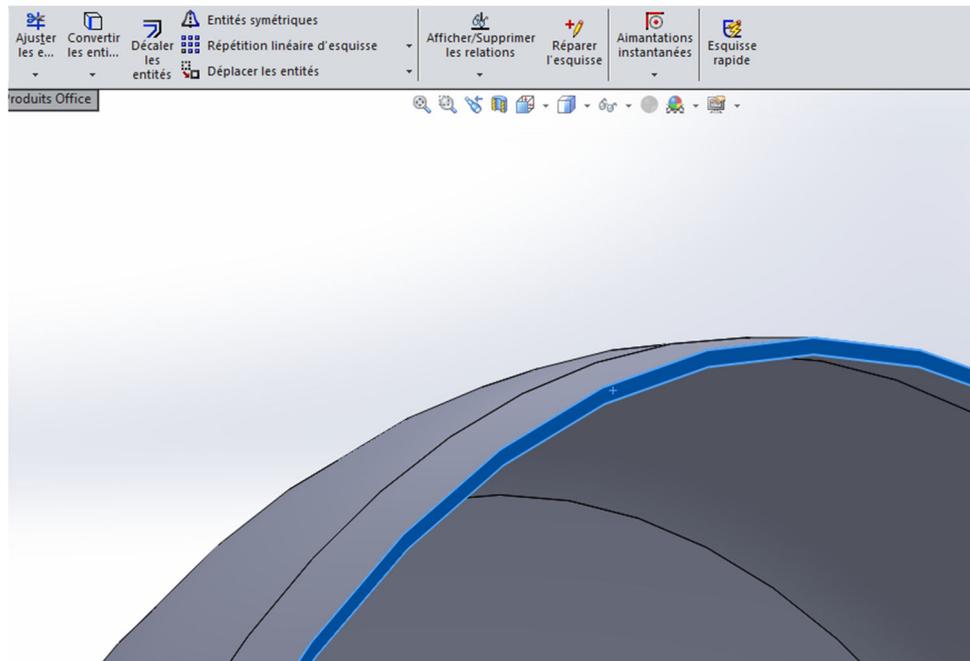


Figure 24: Convertir les entités.

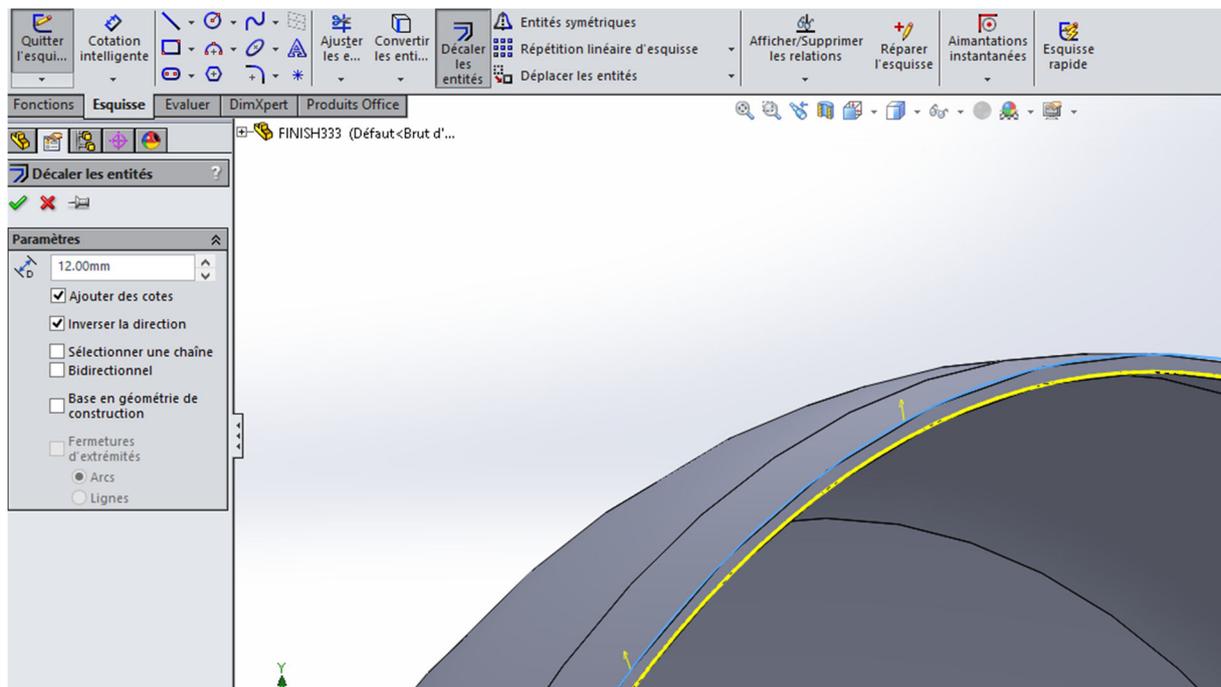


Figure 25: Décaler les entités.

II.6.3. Créer une pièce de tôlerie:



Pour créer une pièce de tôlerie, vous devez cliquer sur l'icône :

Le logiciel vous demandera alors de créer une esquisse. Cette dernière constituera en quelque sorte la base de votre pièce.

- On sélectionne notre esquisse (Figure 26).

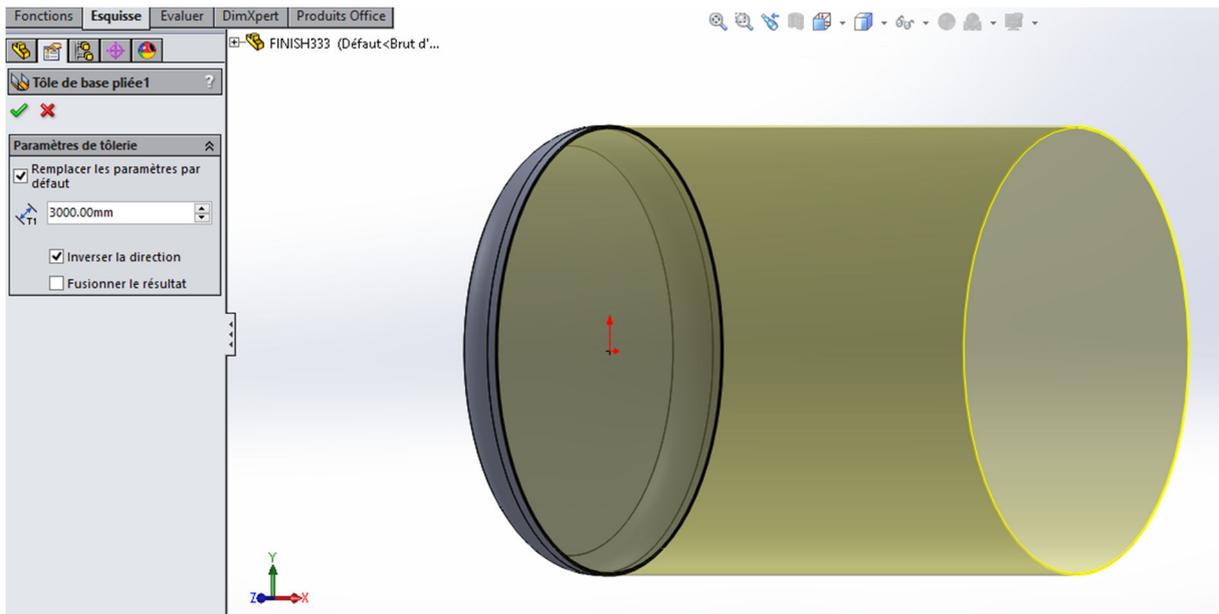


Figure 26: Tôle de base pliée 1.

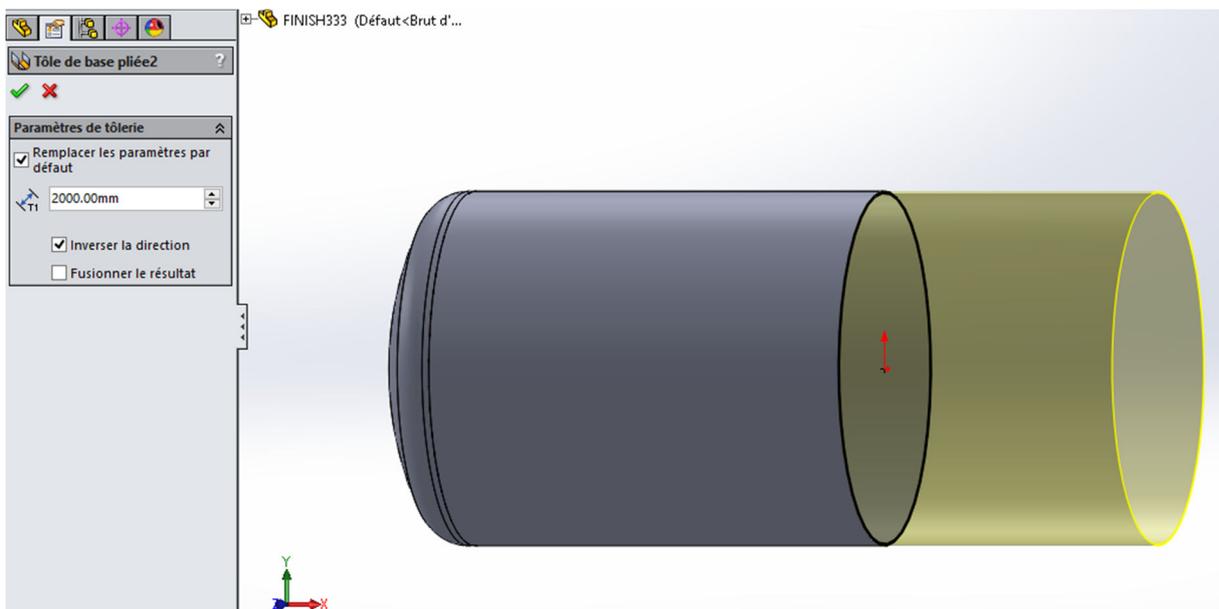


Figure 27: Tôle de base pliée 2.

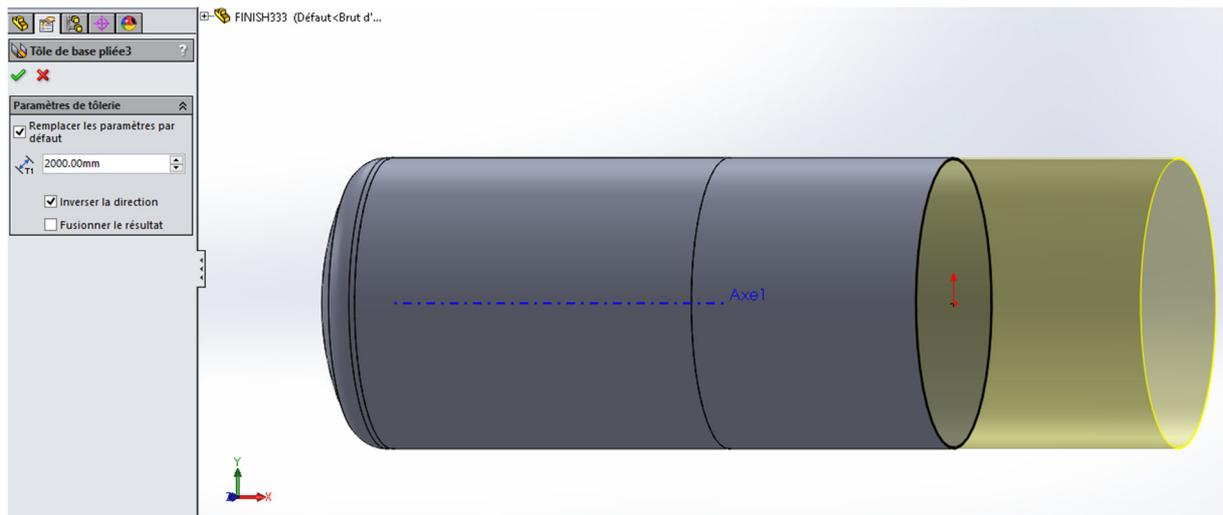


Figure 28: Tôle de base pliée 3.

II.6.3.1. La symétrie:

La symétrie est très utile pour des projets, où l'on modélise un côté, puis on symétrise l'autre. Choisissez la ou les fonction(s) à répéter :

Appuyez sur le bouton :  Symétrie

Un panneau s'affiche alors :

- On sélectionne notre plan et la fonction à symétriser (Figure 29).

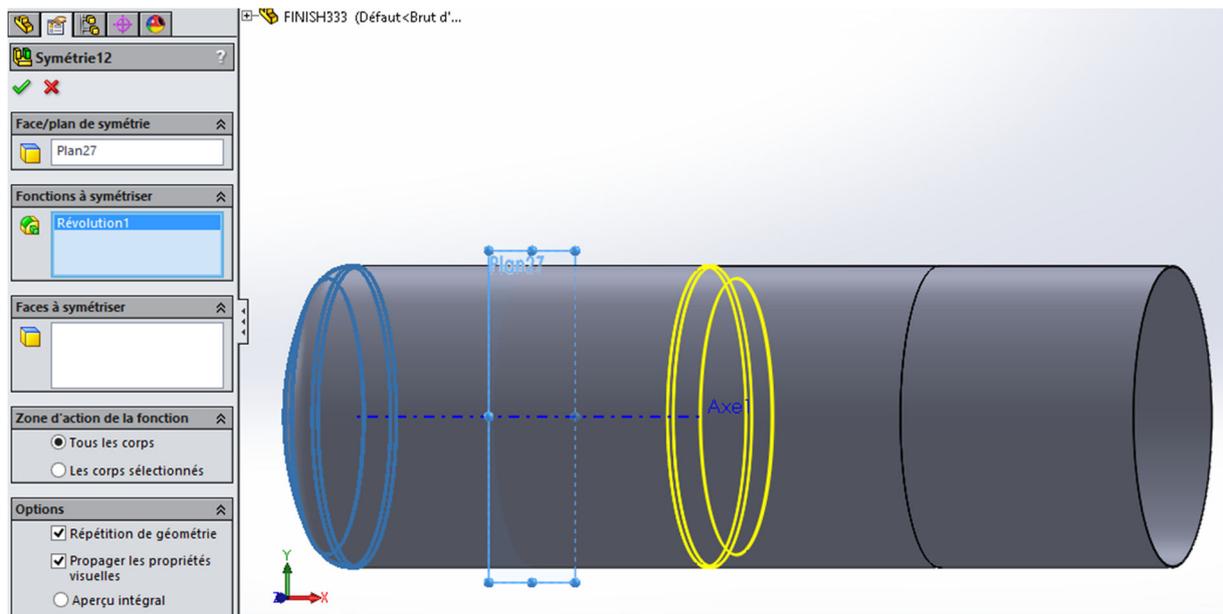


Figure 29: La symétrie du fond bombé.

II.6.3.2. La répétition:

Elle peut être linéaire ou circulaire.

II.6.3.3. Répétition linéaire:

La répétition linéaire permet de dupliquer des fonctions (extrusions, révolutions, ...) un certain nombre de fois pour ne pas avoir à toutes les modéliser. La répétition standard consiste à répéter une fonction de façon linéaire, c'est à dire en suivant un axe.

Pour effectuer une répétition linéaire, sélectionnez le ou les fonction(s) à répéter.

- On sélectionne notre axe et la fonction à répéter (Figure 30).

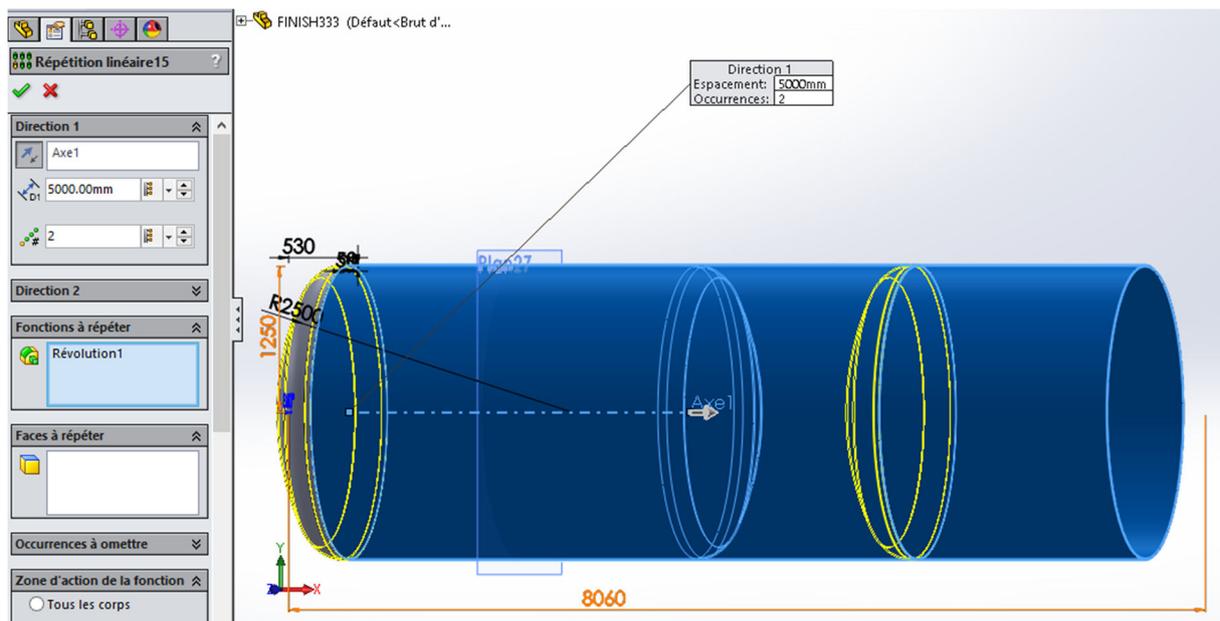


Figure 30: Répétition linéaire du fond bombé.

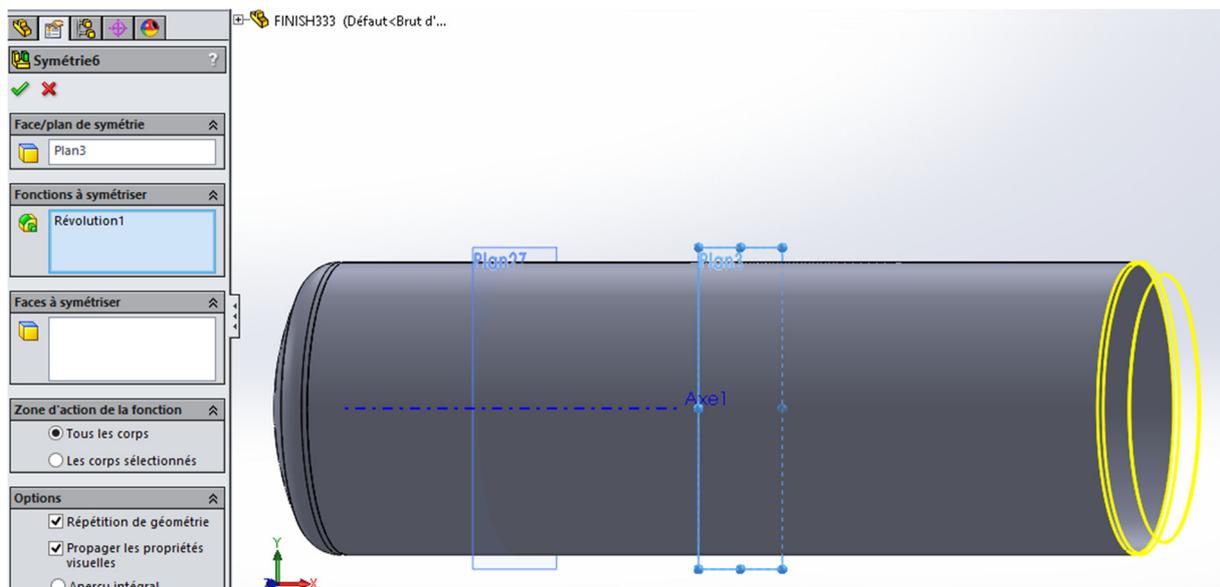


Figure 31: La symétrie du fond bombé.

II.6.4. Création du plancher, fers plats et le profilé UPN :

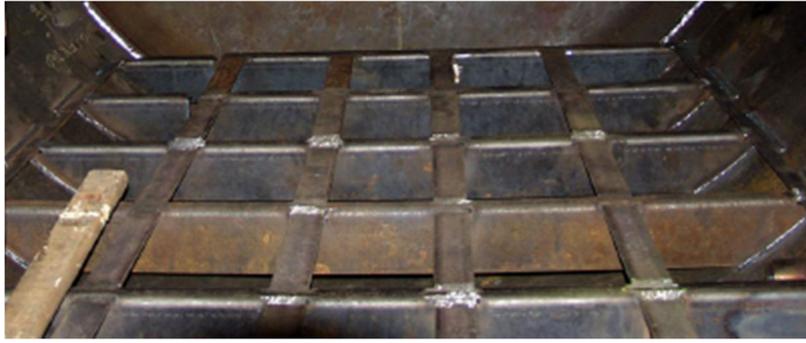


Figure 32: Support de plancher [6].

- Sur le plan 4 on dessine l'esquisse du plancher de 8 mm d'épaisseur et de 1919 mm de longueur (Figure 33).

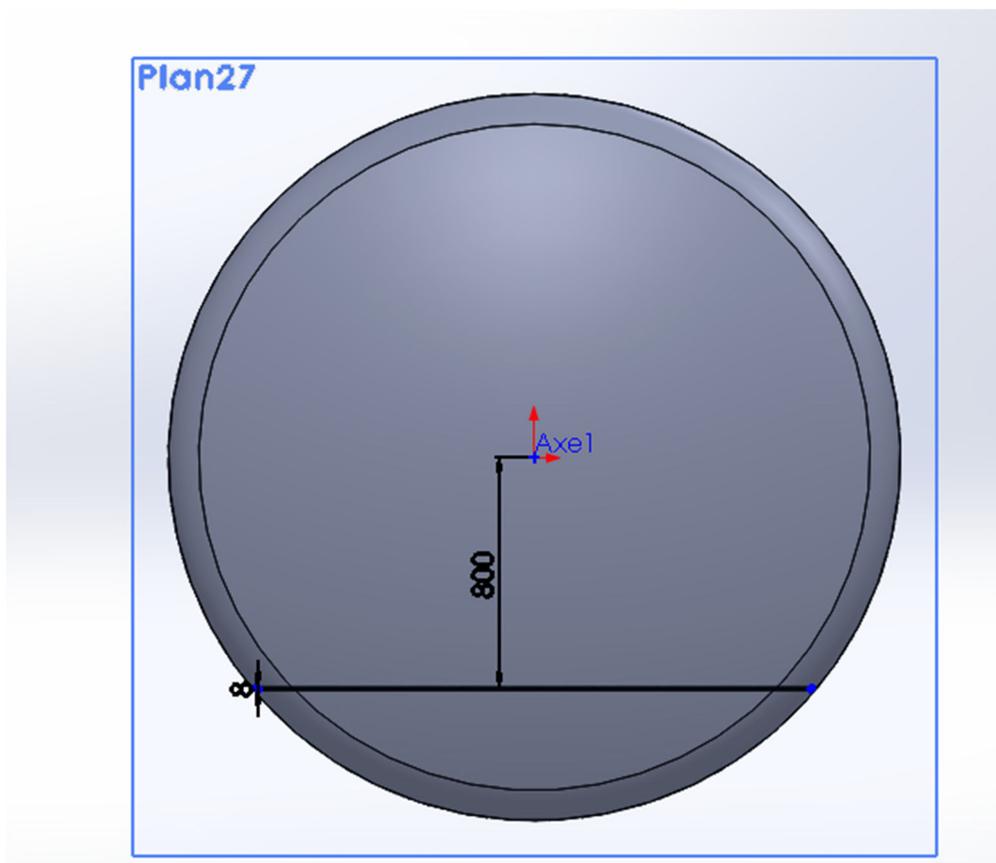


Figure 33: L'esquisse du plancher.

II.6.4.1. La modélisation volumique:

Nous allons suivre 3 étapes :

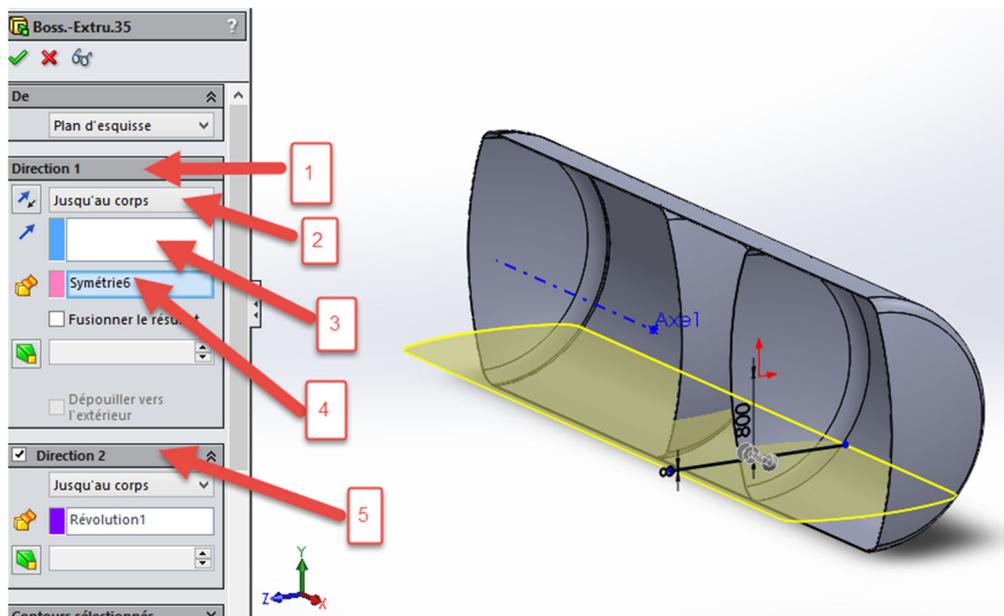
- l'ajout de matière ;
- l'enlèvement de matière ;
- les fonctions complémentaires.

Sur le bandeau principal, cliquez ici :



Sélectionnez notre esquisse, cliquez sur "Base/Bossage extrudé", un panneau apparaît à gauche, et notre esquisse prend du volume (Figure 34).

Pour pouvoir distinguer entre les matériaux il faut décochez la case " fusionner le résultat".



1. Le sens d'extrusion.
 2. Le type d'extrusion.
 3. La direction d'extrusion.
 4. La hauteur d'extrusion.
 5. La "direction 2", qui permet d'extruder dans le sens inverse (ici vers le bas)
- Nous pouvons modifier la hauteur d'extrusion bien entendu.

Figure 34: Création du plancher.

- Sur le même plan on dessine l'esquisse de fers plat avec une épaisseur A de 10 mm et une largeur B de 80 mm (Figure 35).

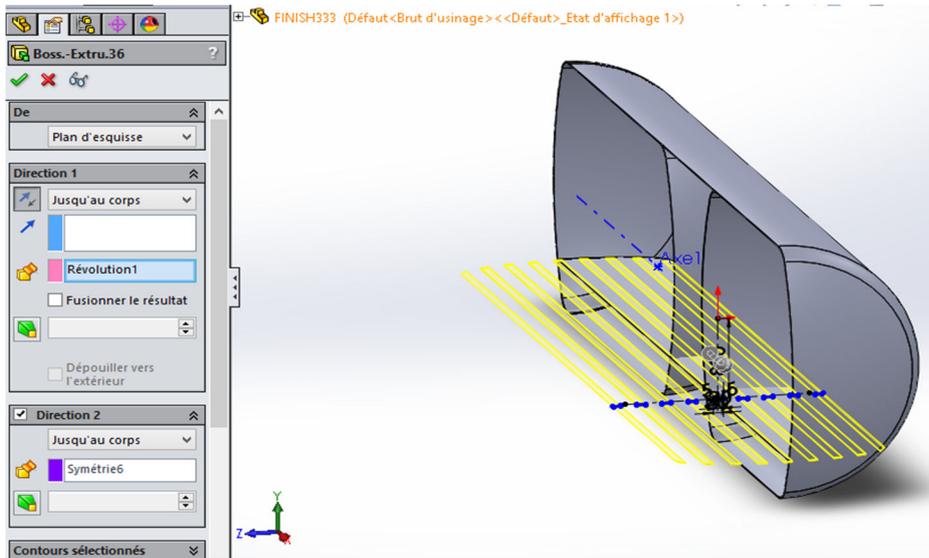


Figure 35: Création des fers plats.

- Sur le plan 3 au milieu, on dessine l'esquisse du profilé UPN et on spécifie les dimensions (Tableau 4) (Figure 36):

Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche	
G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm	r ₂ mm	A mm ² x10 ²	d mm	Ø	e _{min} mm	e _{max} mm	A _L m ² /m	A _c m ² /t
UPN 140	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	20,4	98	M 12	33	37	0,489	30,54

Tableau 4: Dimensions d'UPN 140.

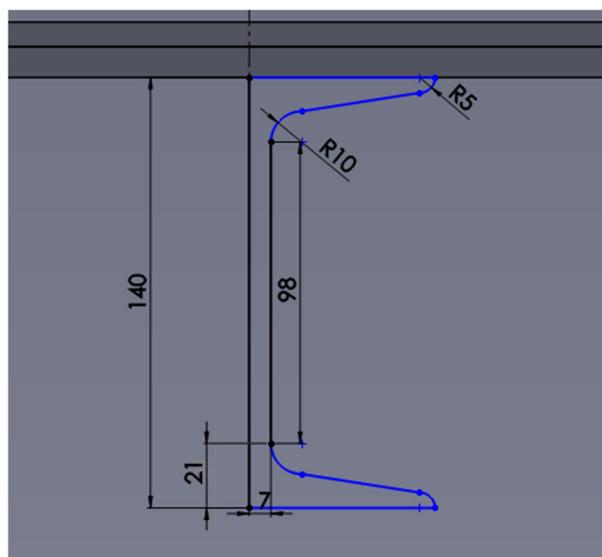


Figure 36: Esquisse d'UPN 140.

II.6.4.2. La répétition linéaire d'esquisse:

La répétition linéaire d'esquisse consiste à répéter un motif selon une direction. Sélectionnez l'esquisse du profilé UPN, puis cliquez sur répétition linéaire d'esquisse :

Il se répète le long de l'axe 1, la distance qui sépare chaque motif est de 430 mm (Figure 37).

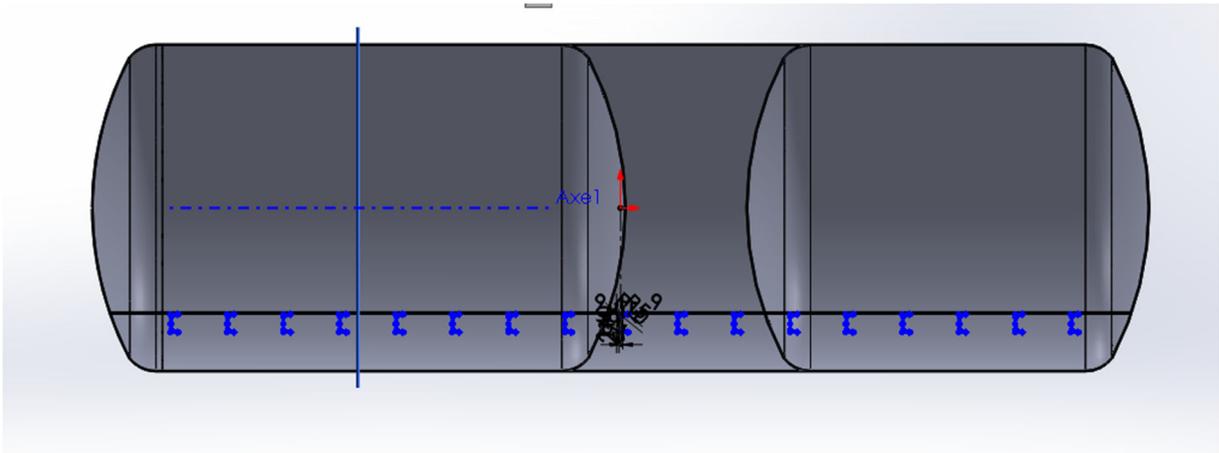


Figure 37: La répétition de l'esquisse d'UPN 140.

- Pour pouvoir distinguer entre les matériaux il faut décocher la case " fusionner le résultat" (Figure 38).

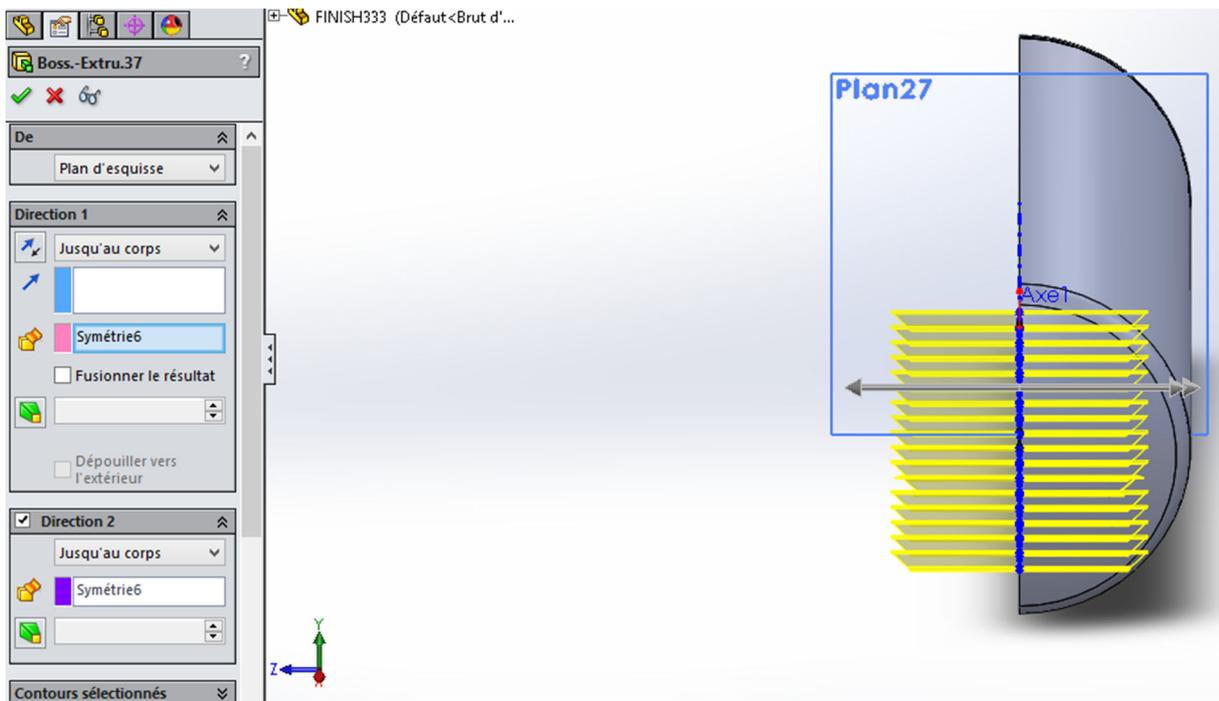


Figure 38: Création d'UPN 140.

II.6.5.Création des portes :

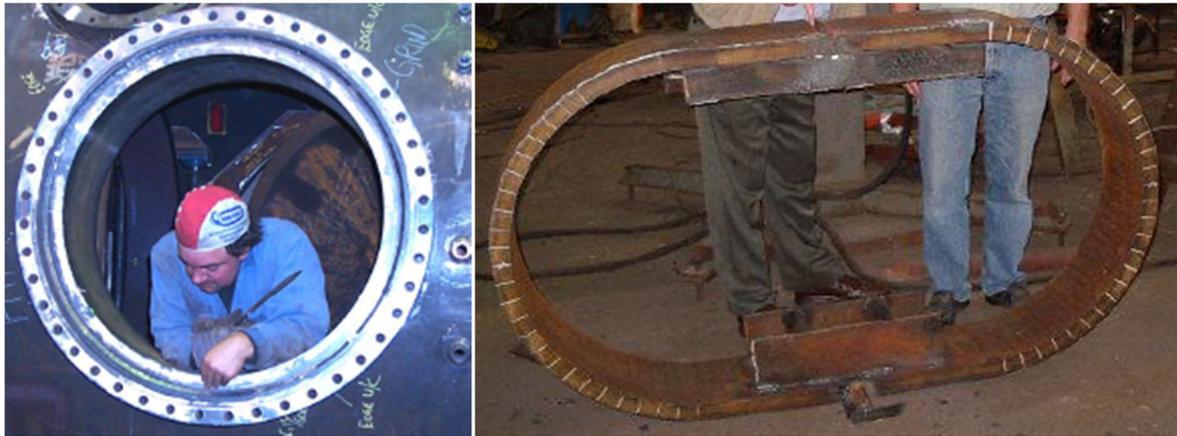


Figure 39: Cadres des portes [6].

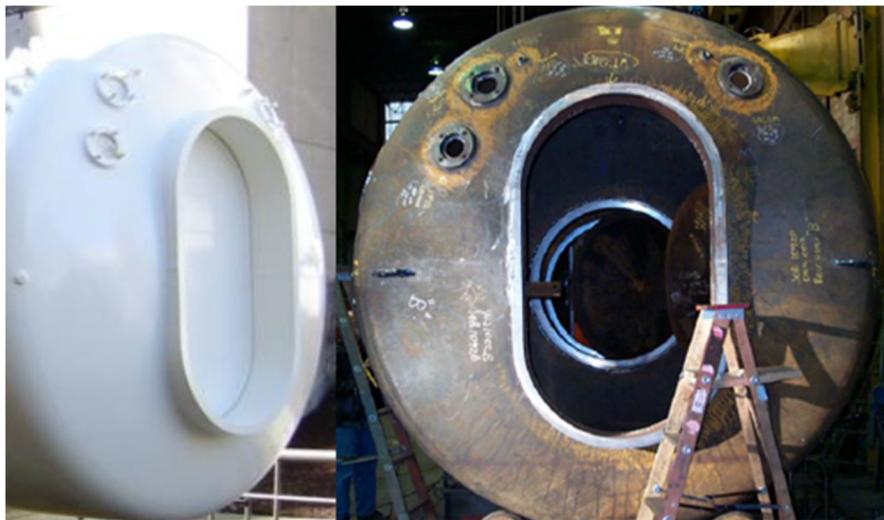


Figure 40: Porte extérieure [6].

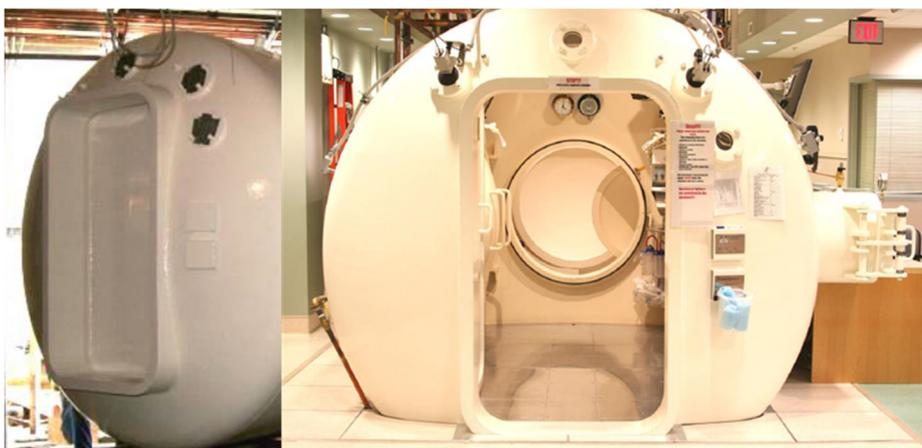


Figure 41: Porte extérieure rectangulaire [6].



Figure 42: Porte intérieure [6].

- Sur le plan 6, on dessine l'esquisse d'une porte de largeur de 800 mm, de hauteur de 1450 mm et d'épaisseur 50 mm (Figure 43).

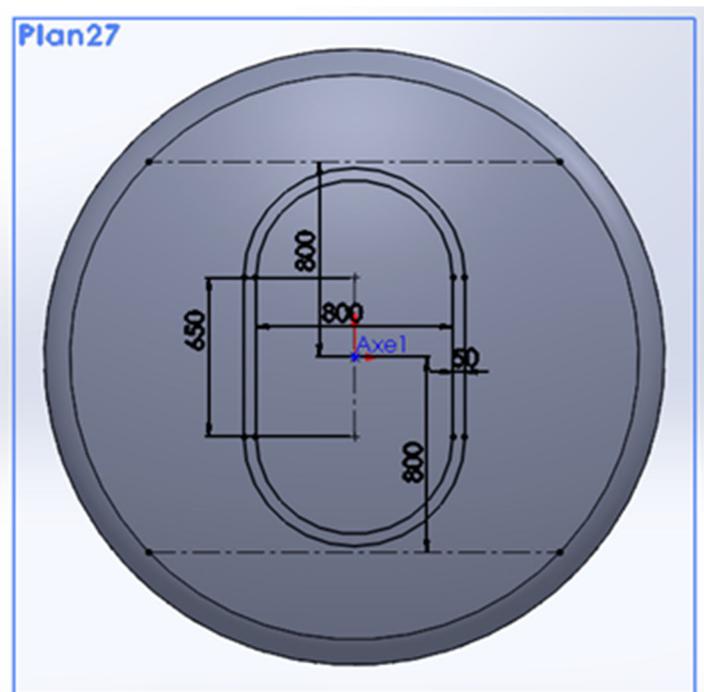


Figure 43: Esquisse de la porte extérieure.

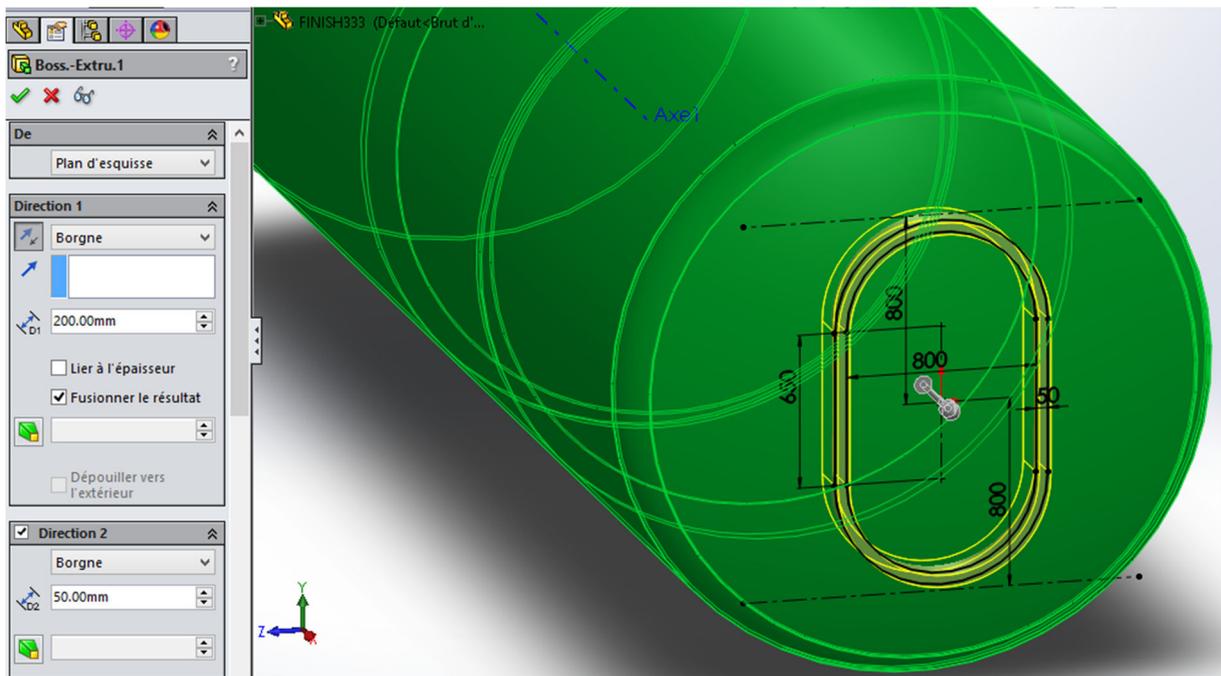


Figure 44: Fonction de base bossage par extrudé de la porte.

II.6.5.1. Enlever de la matière :

Ayant terminé la partie concernant l'ajout de matière, passons à l'enlèvement de cette dernière.



Dans le bandeau principal, cliquez sur :

- Il s'agit de la fonction "Enlèvement de matière extrudé". C'est l'inverse de l'extrusion que nous avons vu précédemment : là, nous **enlèverons** de la matière (Figure 45).

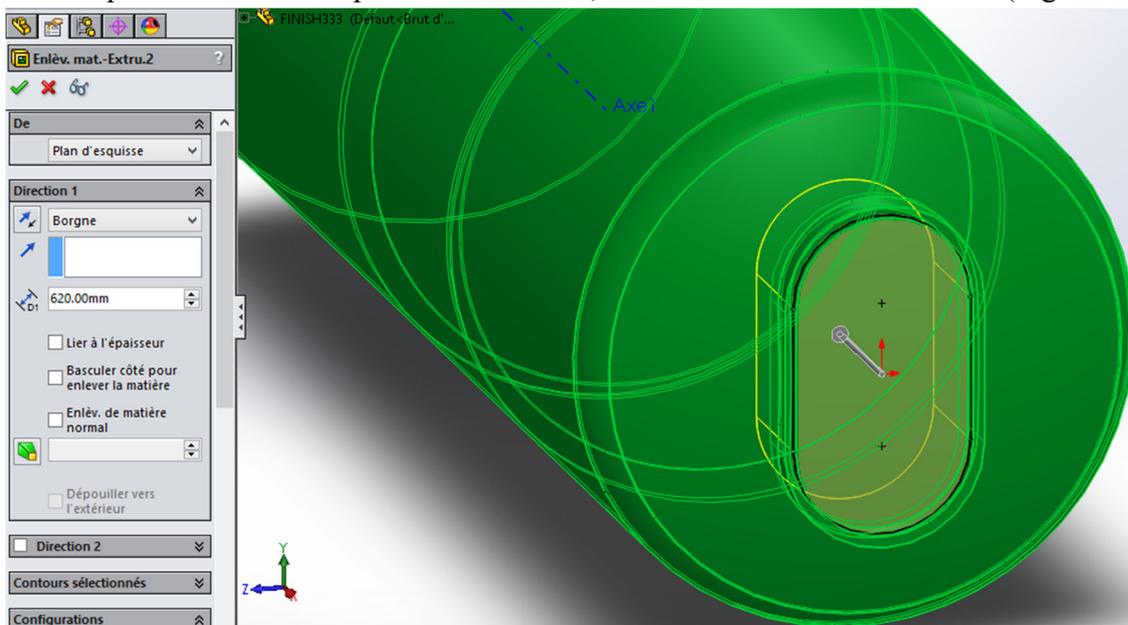


Figure 45: Fonction enlèvement de matière extrudé de la porte.

- Sur le plan 7, on dessine l'esquisse d'une porte rectangulaire de 950 mm de largeur, de 1500 mm de hauteur et de 50 mm d'épaisseur (Figure 46).

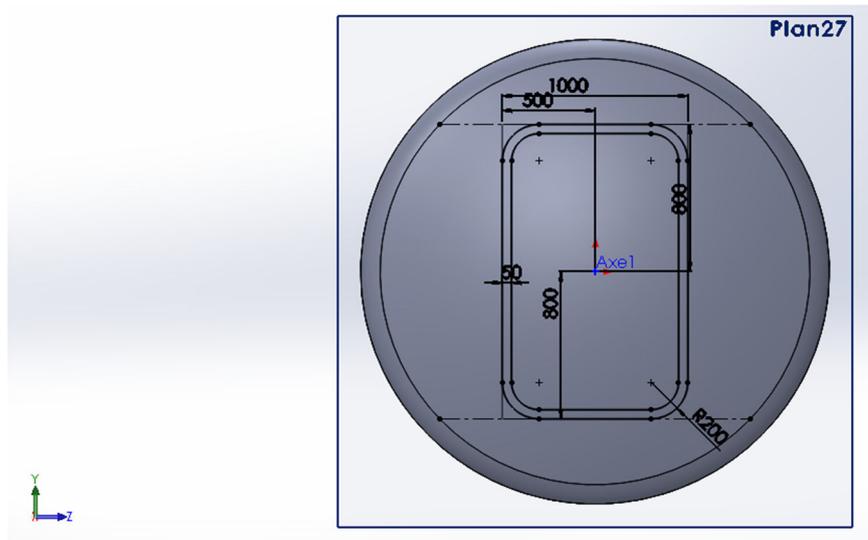


Figure 46: Esquisse de la porte extérieure.

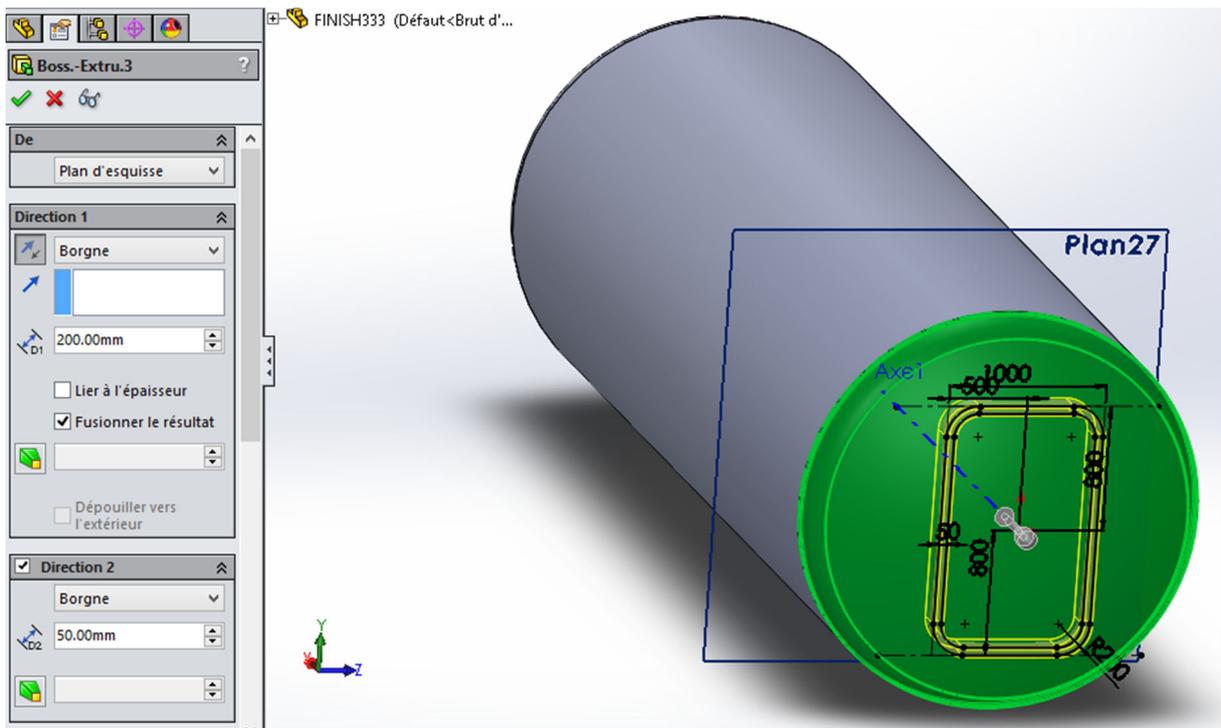


Figure 47: Fonction de base bossage par extrudé de la porte rectangulaire.

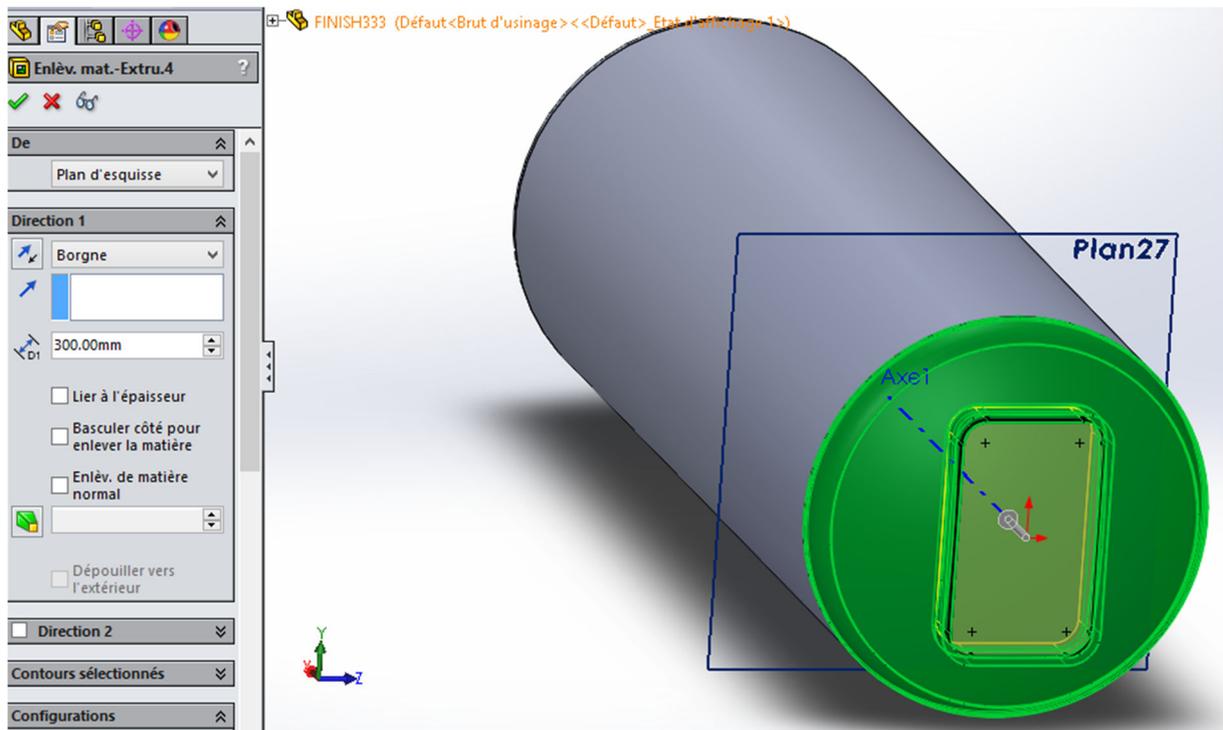


Figure 48: Fonction enlèvement de matière extrudé de la porte rectangulaire.

- Sur le plan 8, on dessine l'esquisse d'une porte circulaire avec un diamètre de 1000 mm, puis on sélectionne notre esquisse en cliquant sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 49).

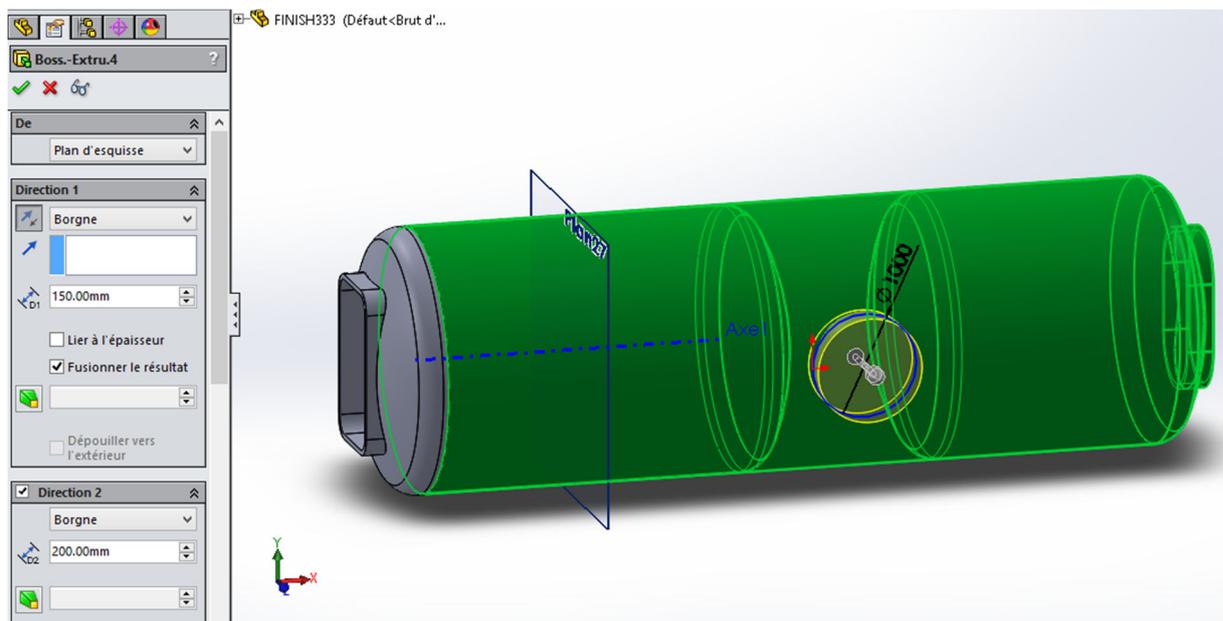


Figure 49: Fonction de base bossage par extrudé de la porte circulaire.

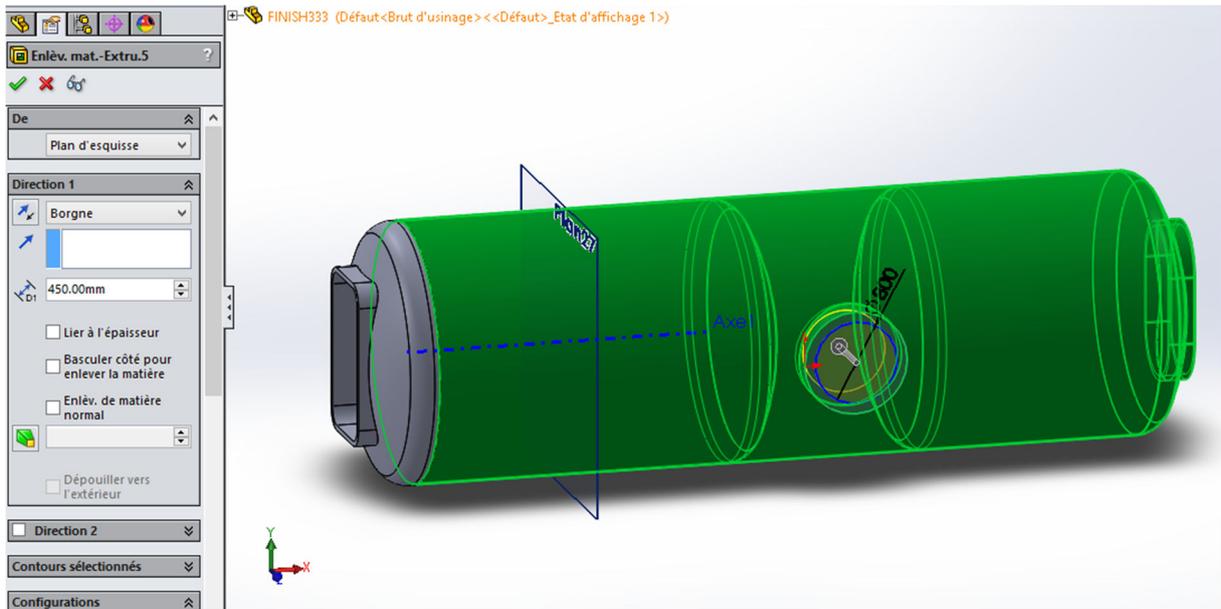


Figure 50: Fonction enlèvement de matière extrudé de la porte circulaire.

- Créer une esquisse d'un trou de diamètre de 20 mm, puis cliquer sur "répétition circulaire" (Figure 51).

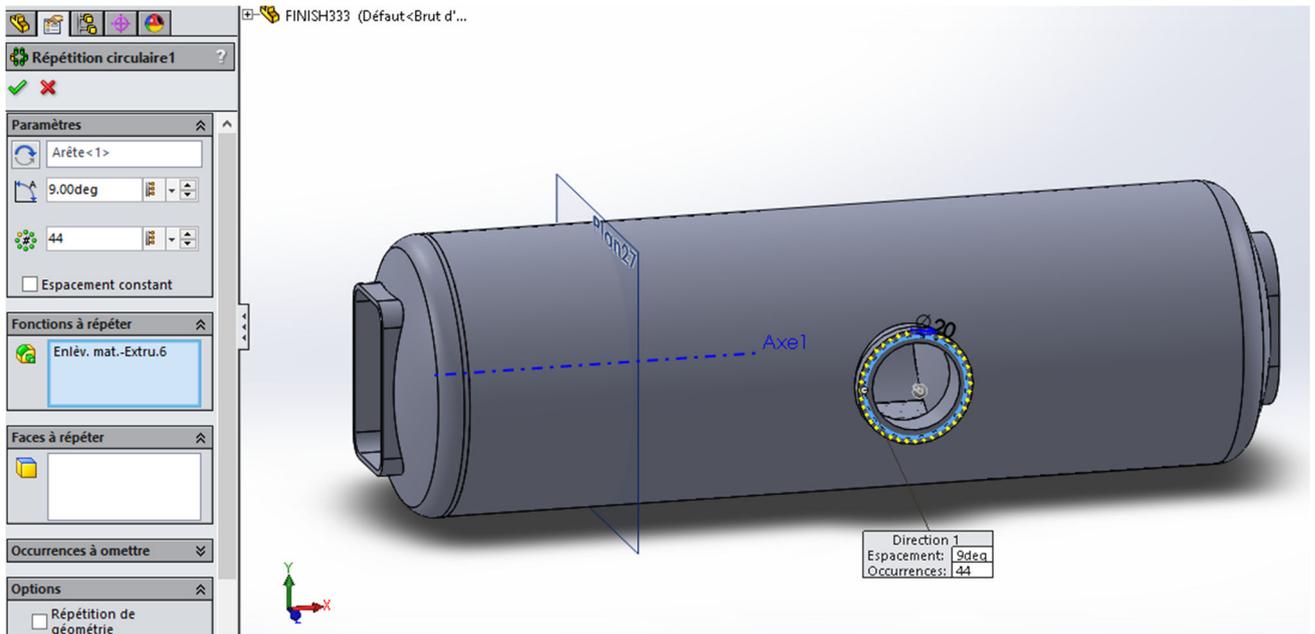


Figure 51: Répétition circulaire des trous sur la porte circulaire.

II.6.6. Création des hublots:

On a créé une esquisse 3D puis un plan 12 pour dessiner notre esquisse d'hublot (Figure 52).



Figure 52: Créer un esquisse 3D et plan 12.

- Sur le plan 12, on dessine l'esquisse d'hublot avec un diamètre de 550 mm, puis on clique sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 53).

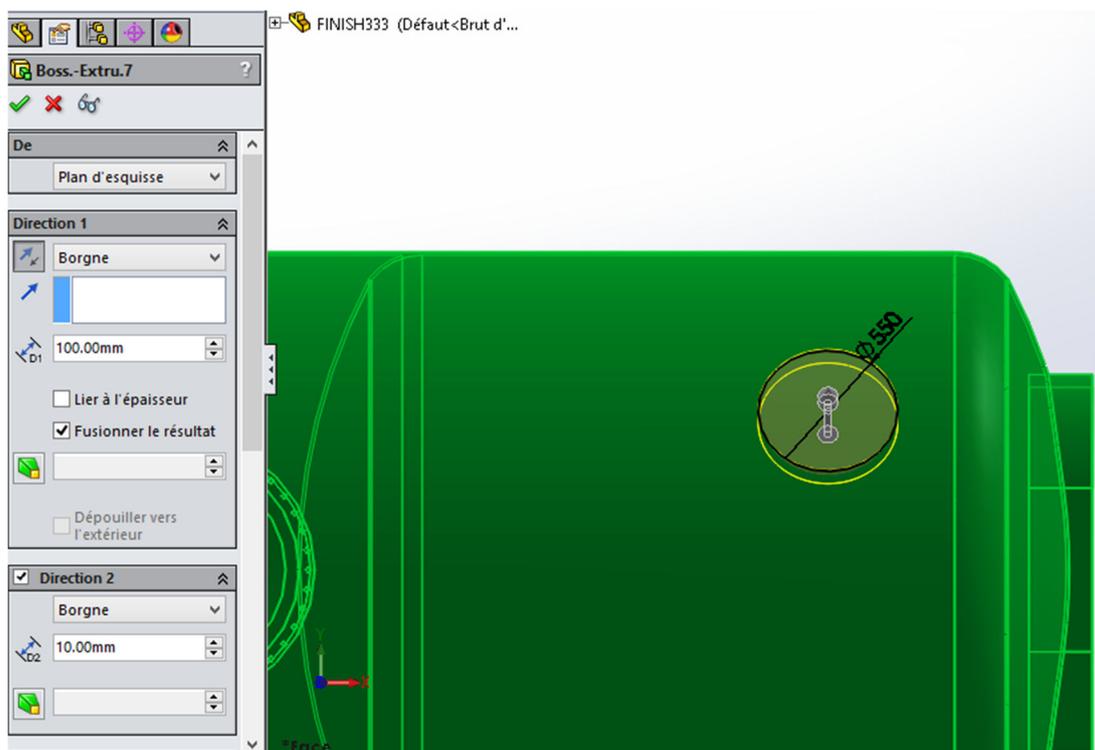


Figure 53: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.

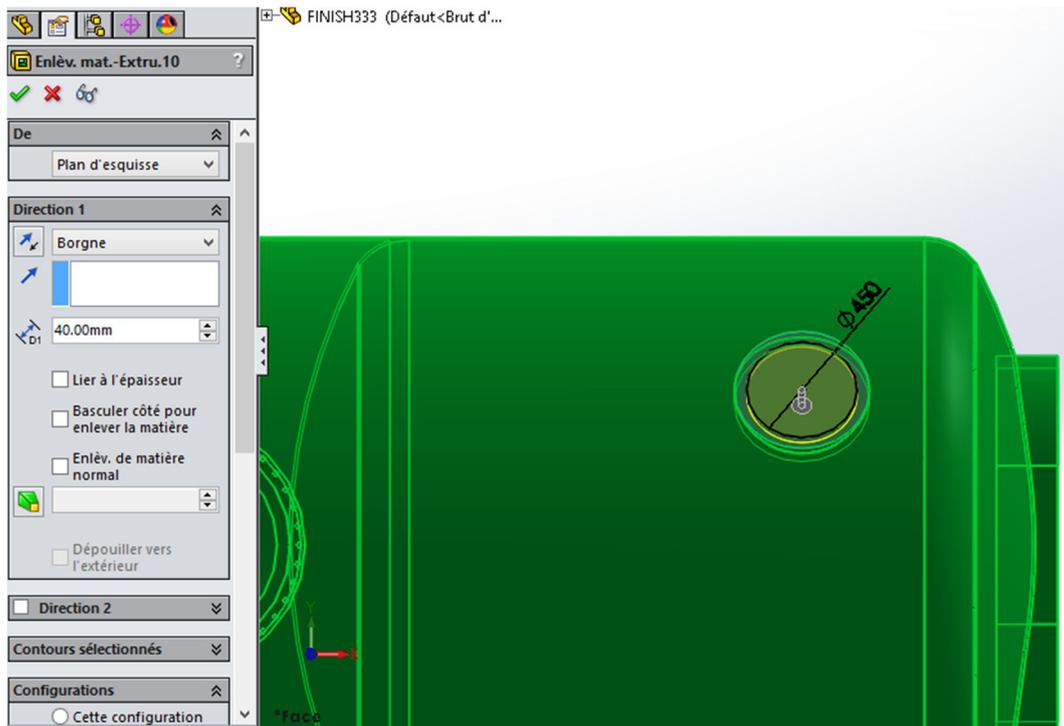


Figure 54: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.

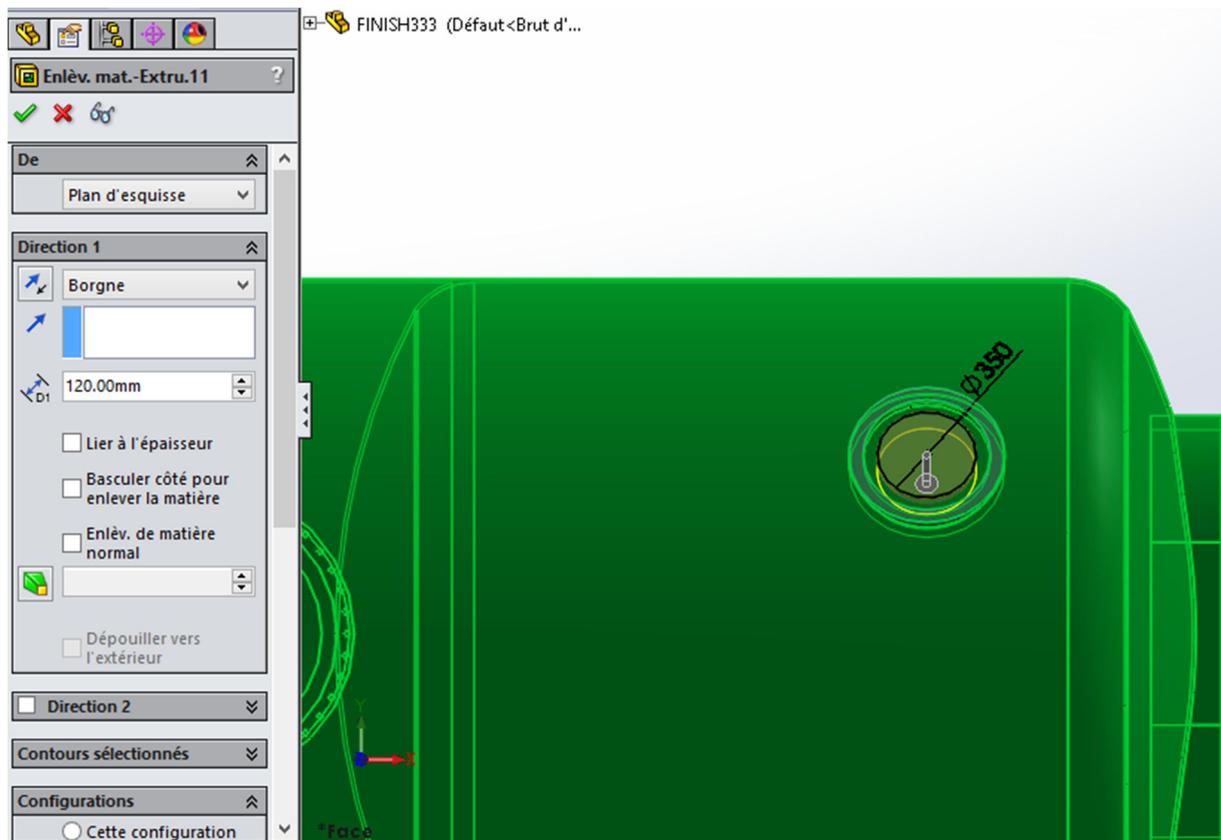


Figure 55: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.

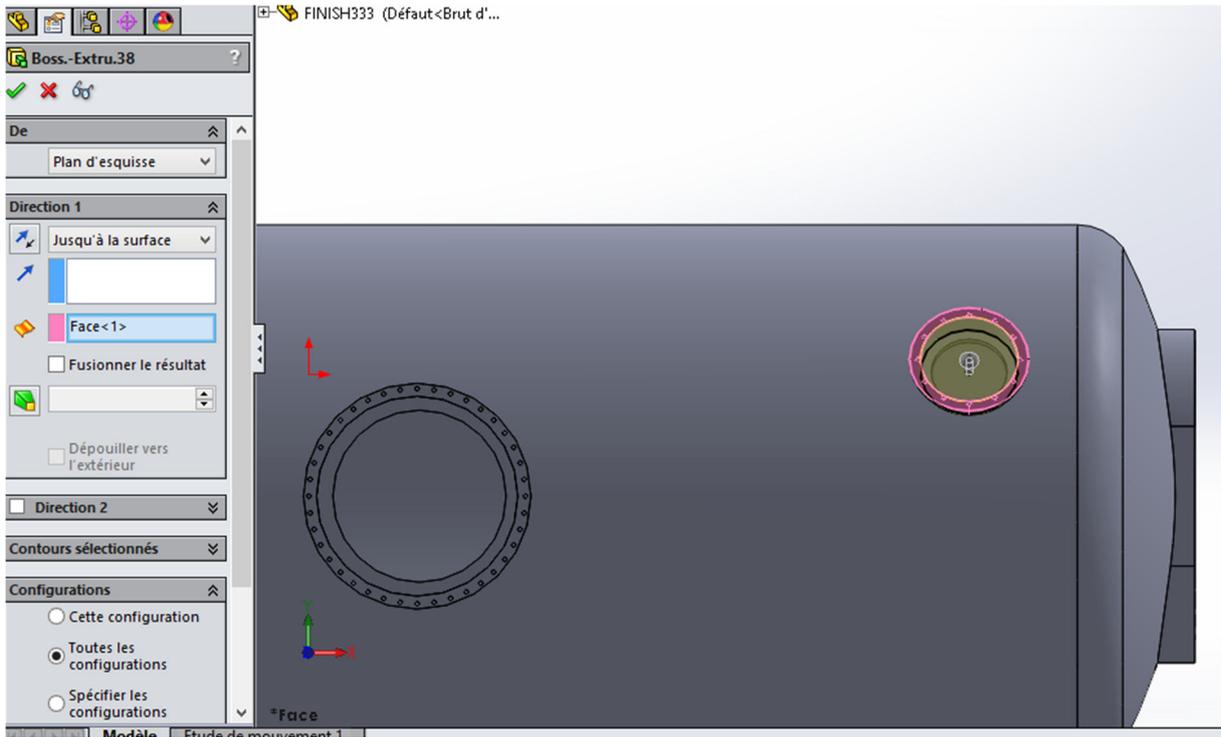


Figure 56: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.

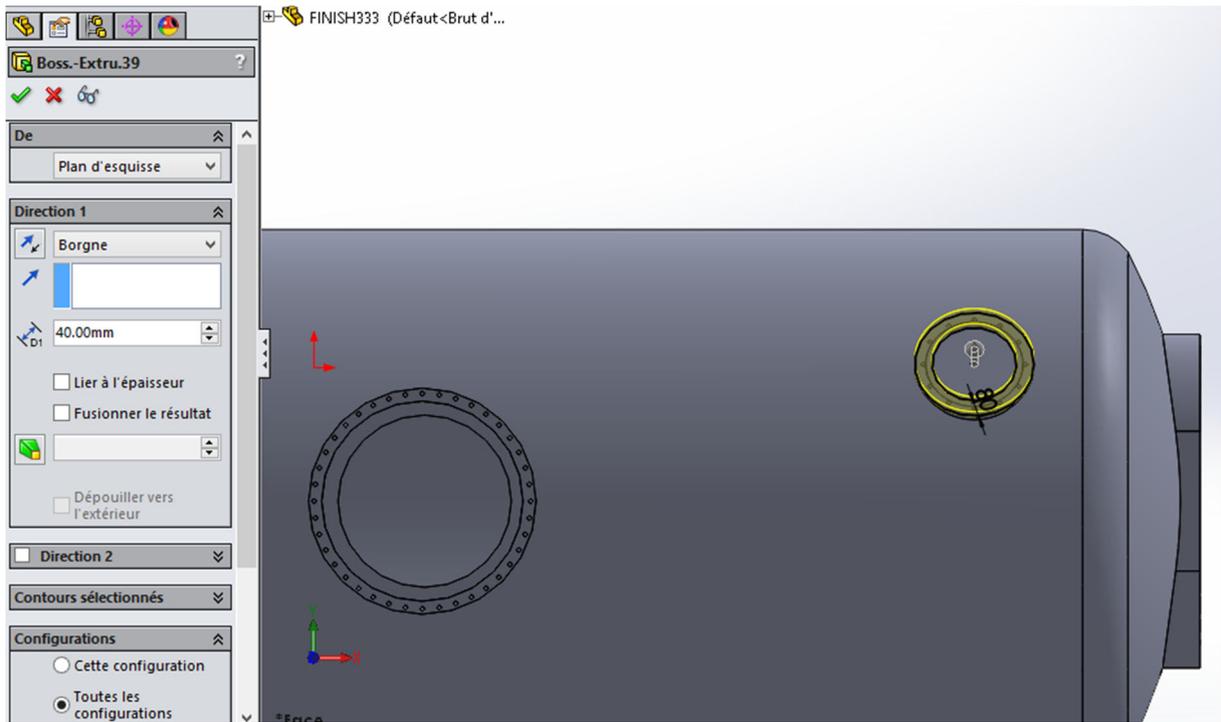


Figure 57: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.

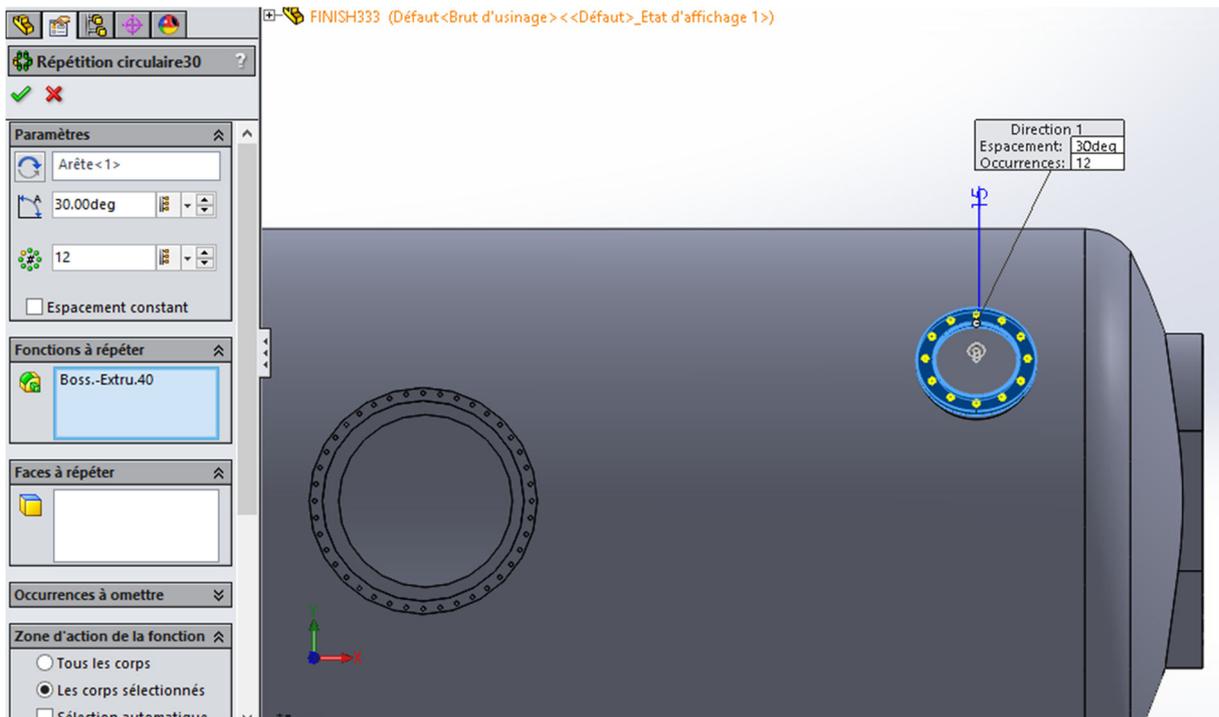


Figure 58: Répétition circulaire des trous d'hublot.

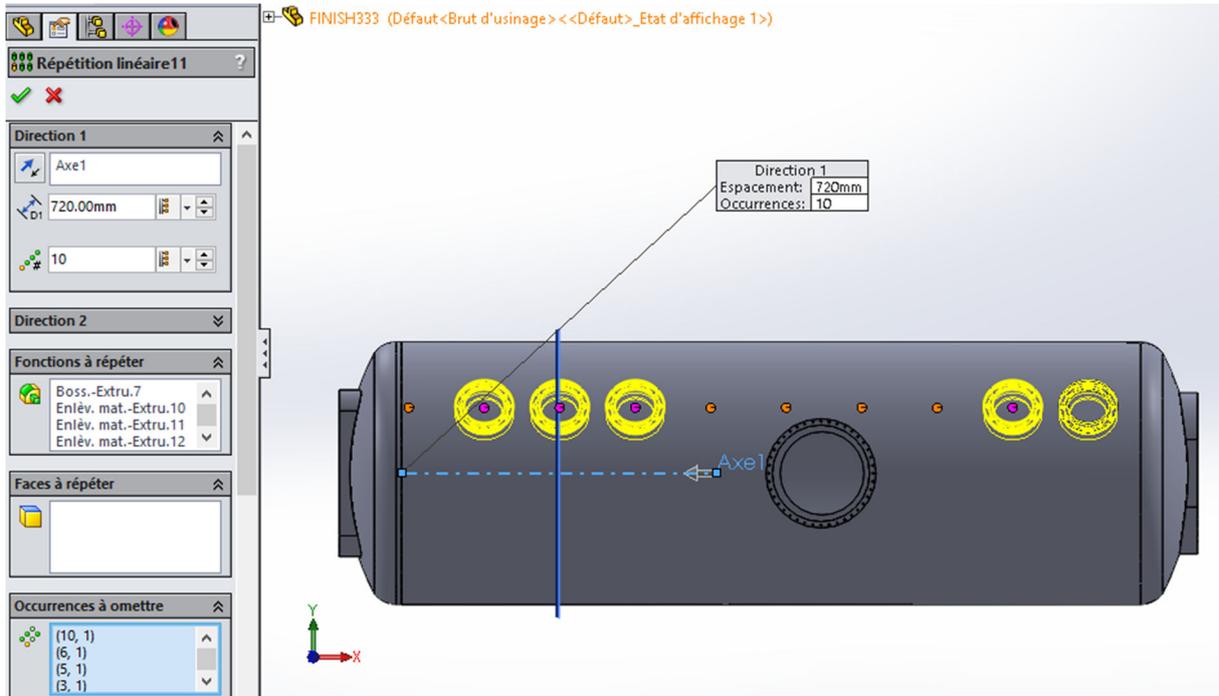


Figure 59: Répétition linéaire d'hublot.

- Sur le plan 13, on dessine l'esquisse d'hublot avec un diamètre de 350 mm, puis on clique sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 60).

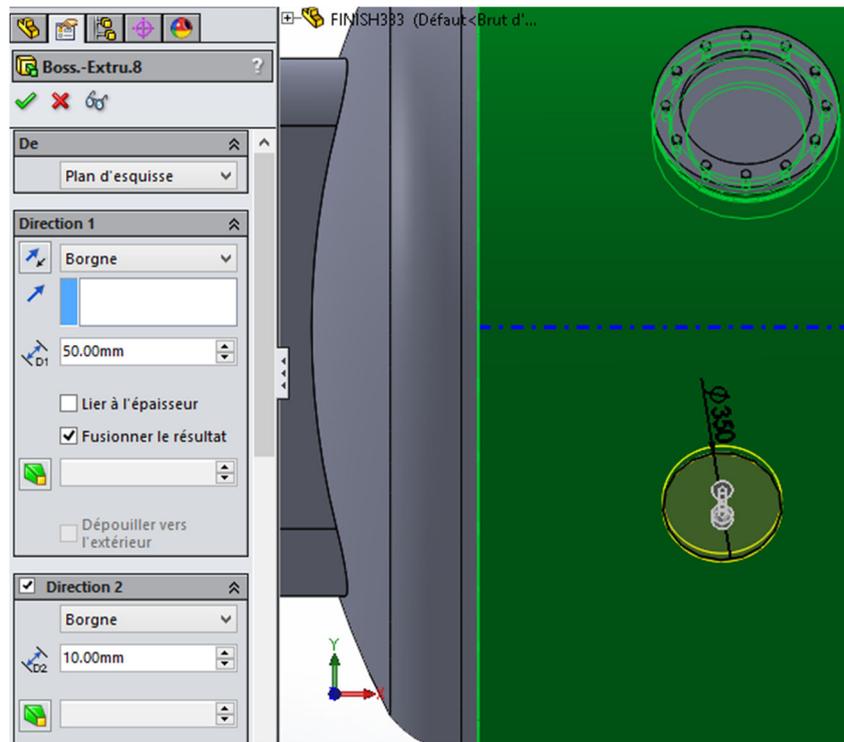


Figure 60: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.

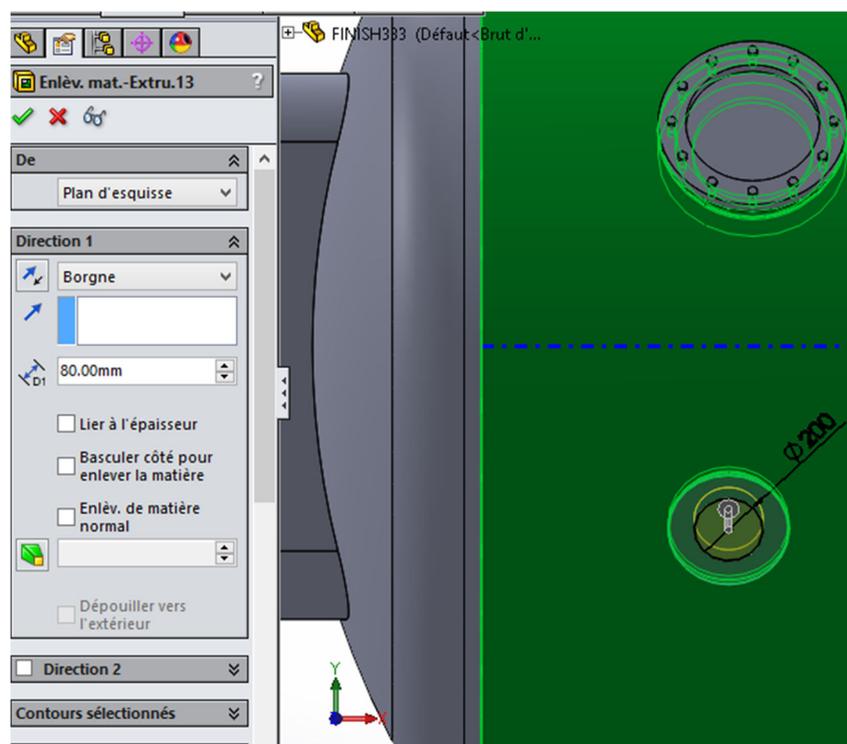


Figure 61: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.

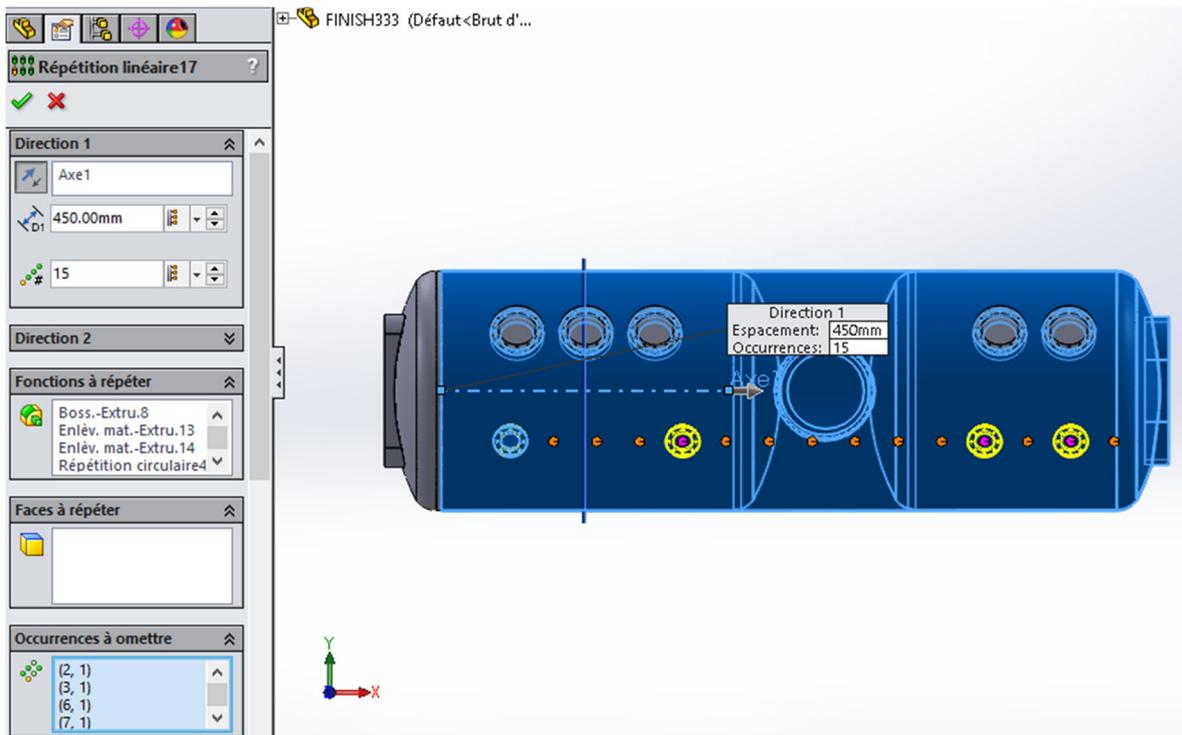


Figure 62: Répétition linéaire d'hublot.

- Sur le plan 14, on dessine l'esquisse d'hublot avec un diamètre de 500 mm, puis on clique sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 63).

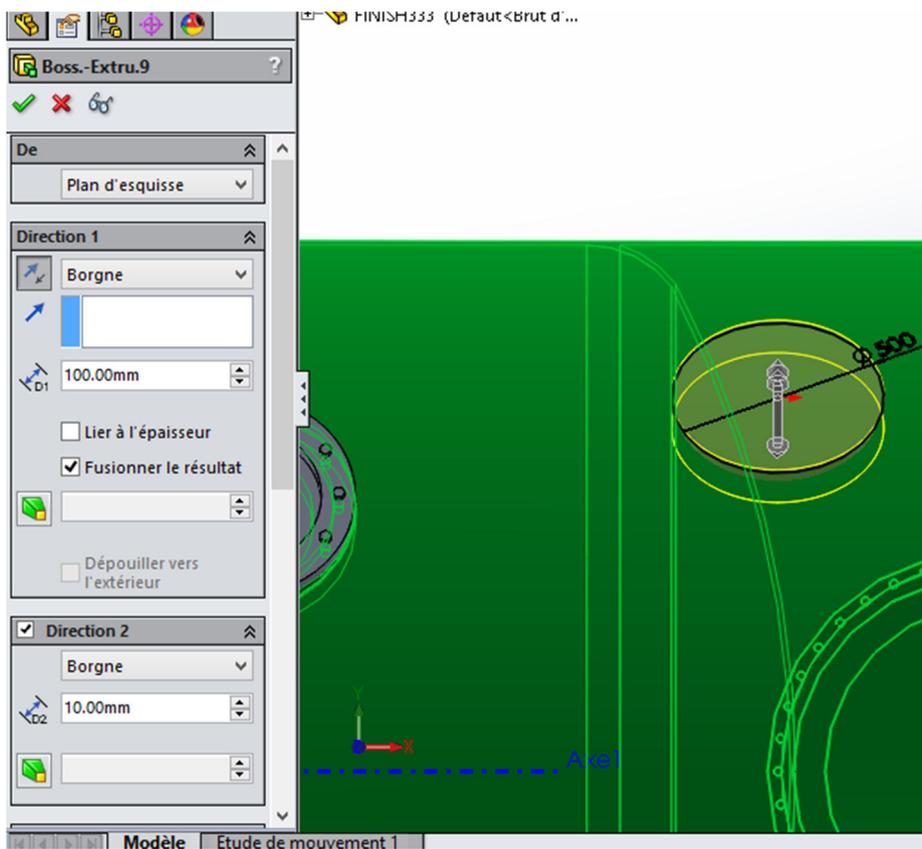


Figure 63: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.

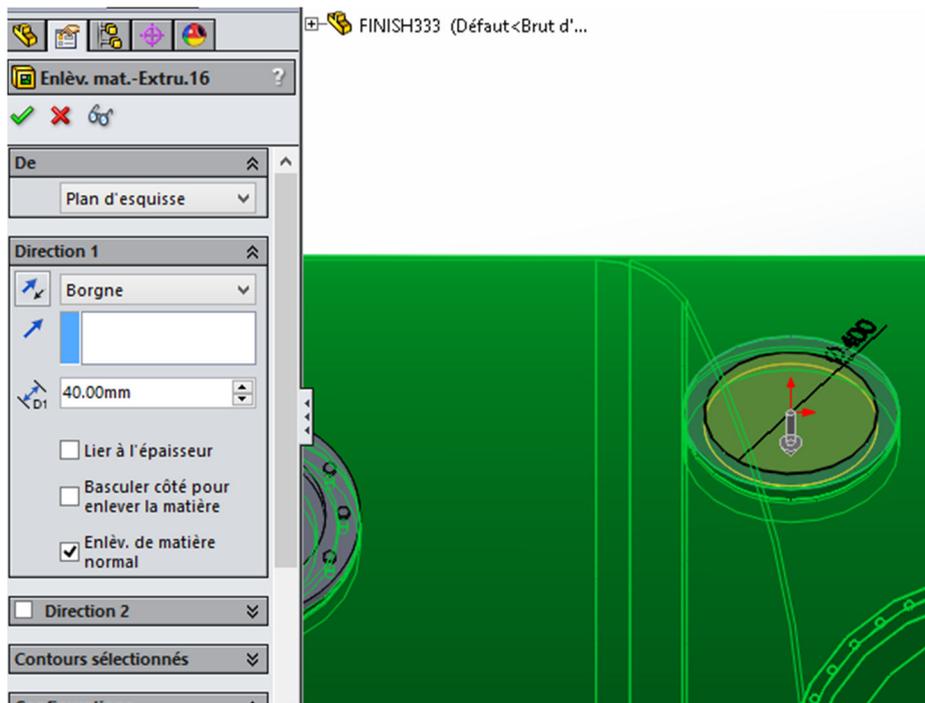


Figure 64: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.

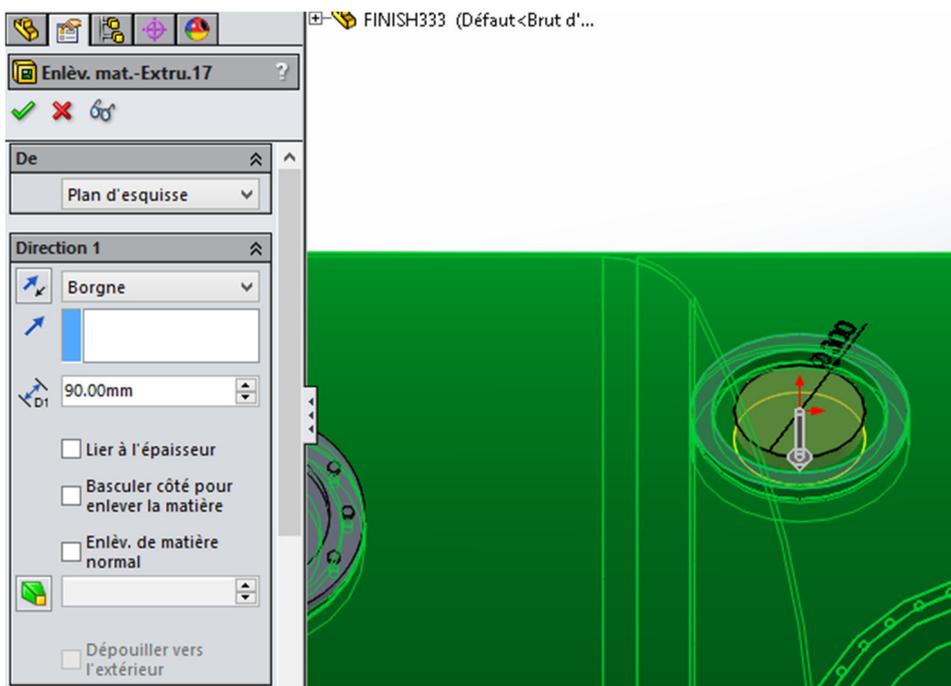


Figure 65: Fonction enlèvement de matière extrudé d'hublot.

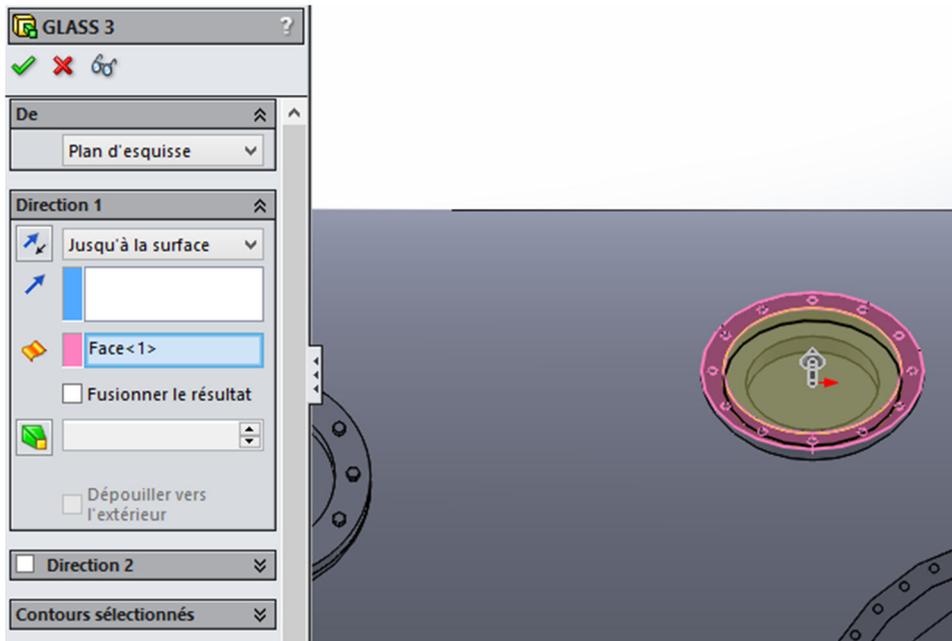


Figure 66: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.

- Pour l'autre côté, on dessine des esquisses d'hublots avec des diamètres de 450 mm et de 350 mm (Figure 67).

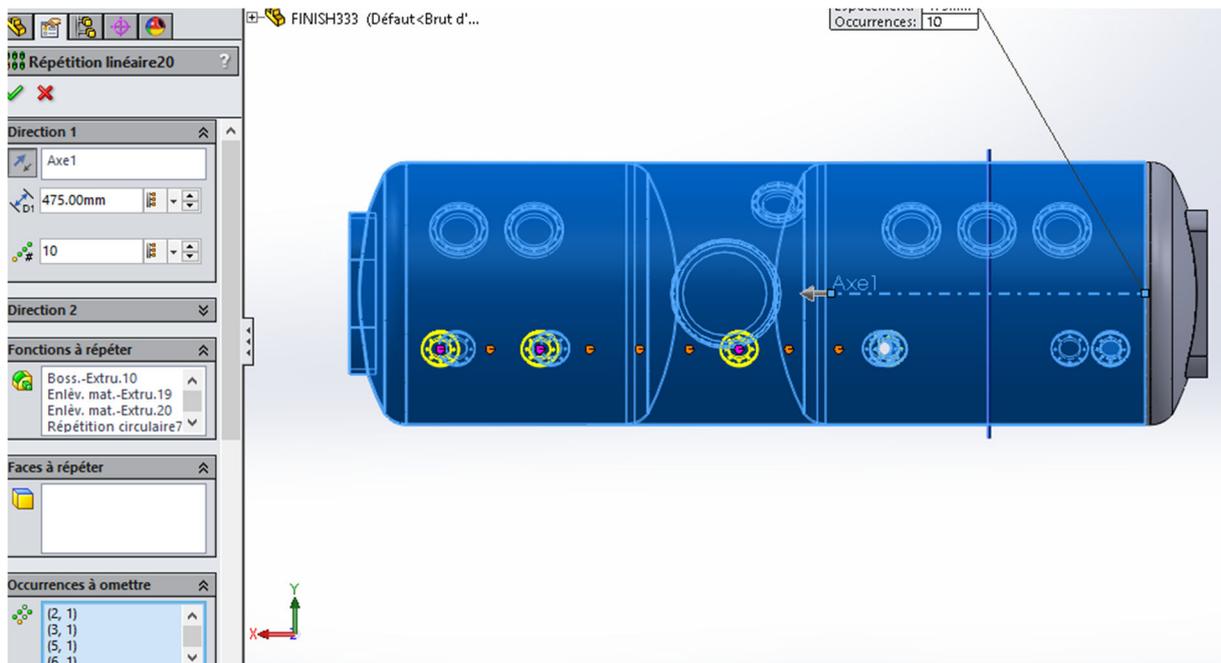


Figure 67: Répétition linéaire d'hublot.

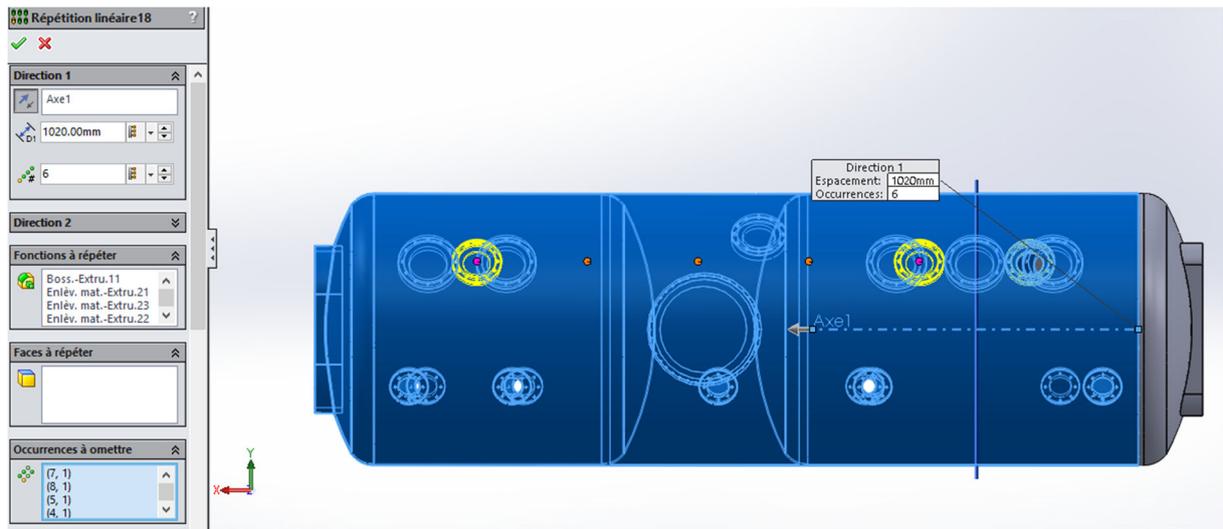


Figure 68: Répétition linéaire d'hublot.

- Pour créer les hublots sur le fond bombé, on travaillera sur le plan 19, on dessinera notre esquisse avec 180 mm de diamètre, puis on cliquera sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 69).

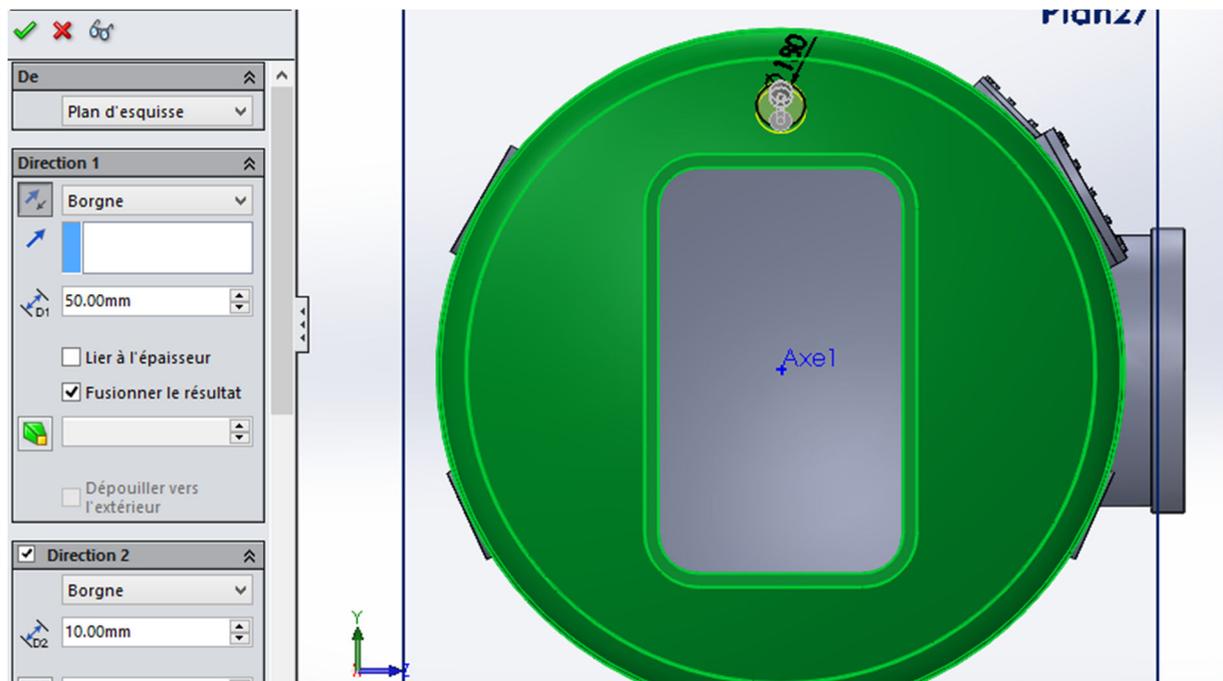


Figure 69: Fonction de base bossage par extrudé d'hublot.

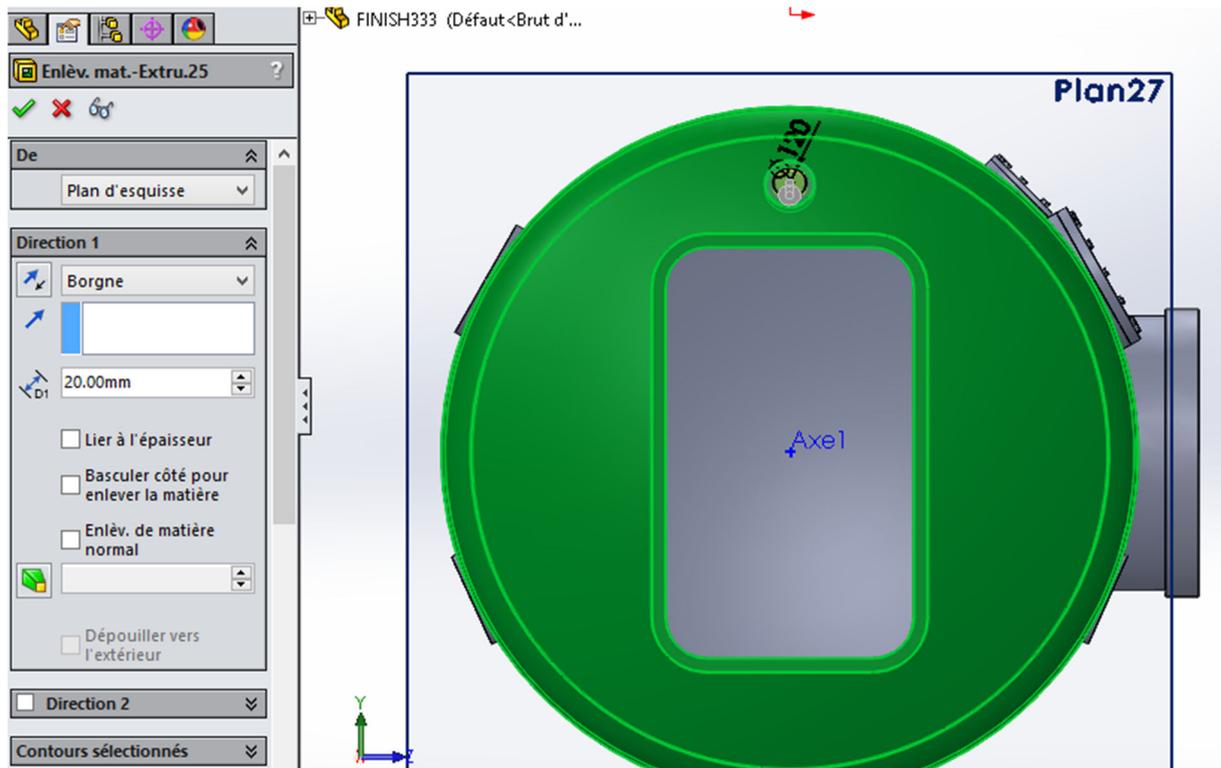


Figure 70: Fonction d'enlèvement de matière extrudé d'hublot.

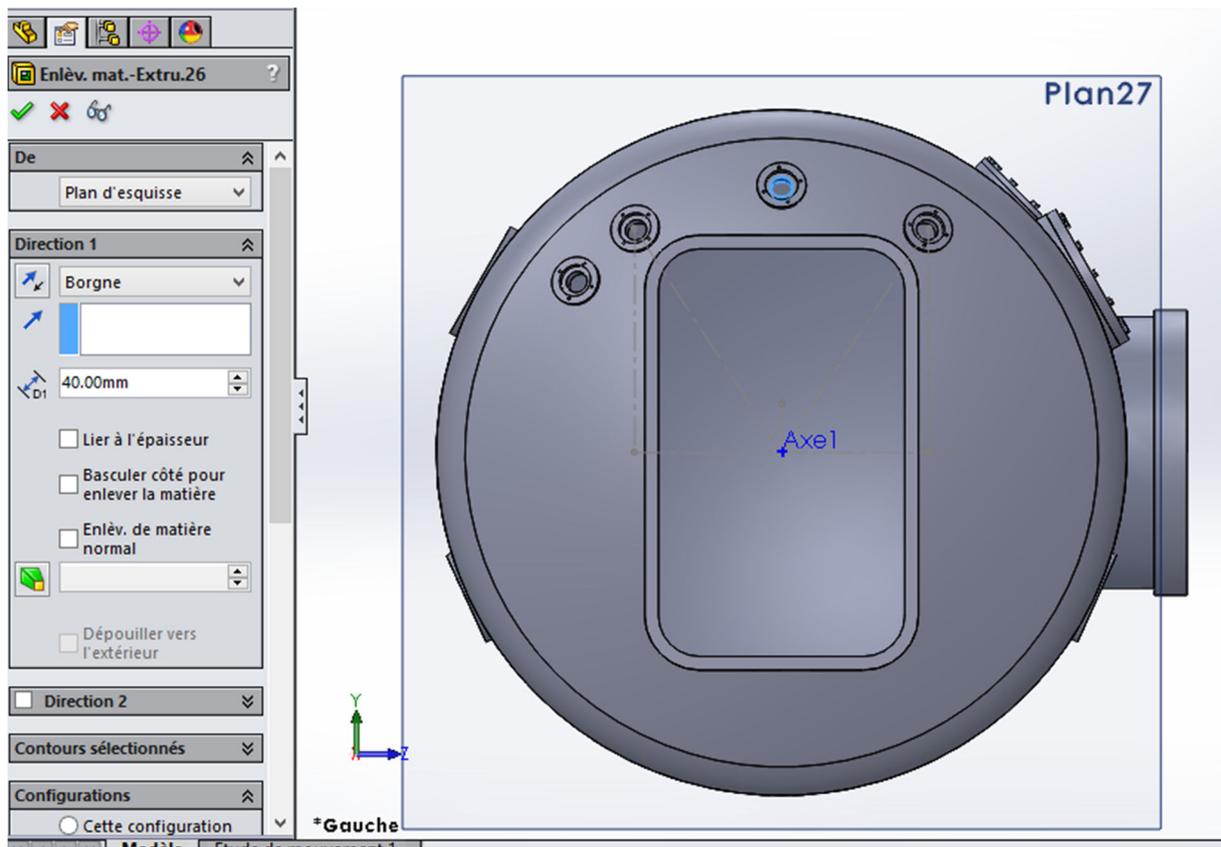


Figure 71: Fonction d'enlèvement de matière extrudé d'hublot.

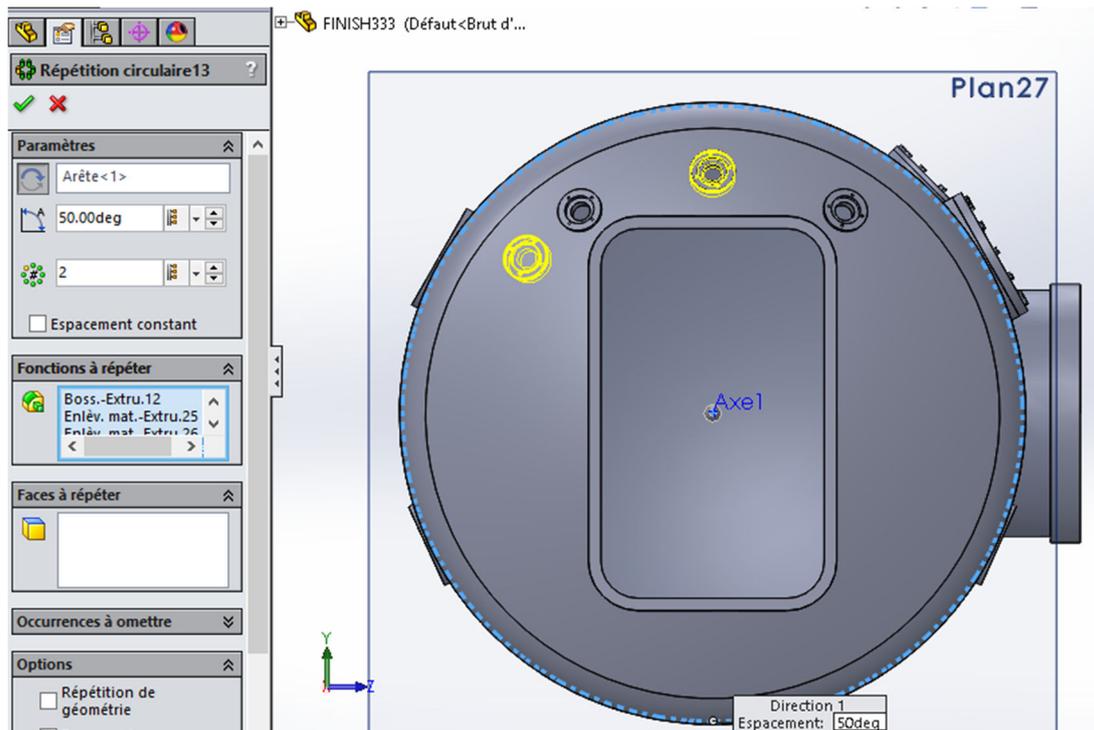


Figure 72: Répétition circulaire des trous d'hublot.

- On fait la même chose sur l'autre côté avec les mêmes dimensions (Figure 73).

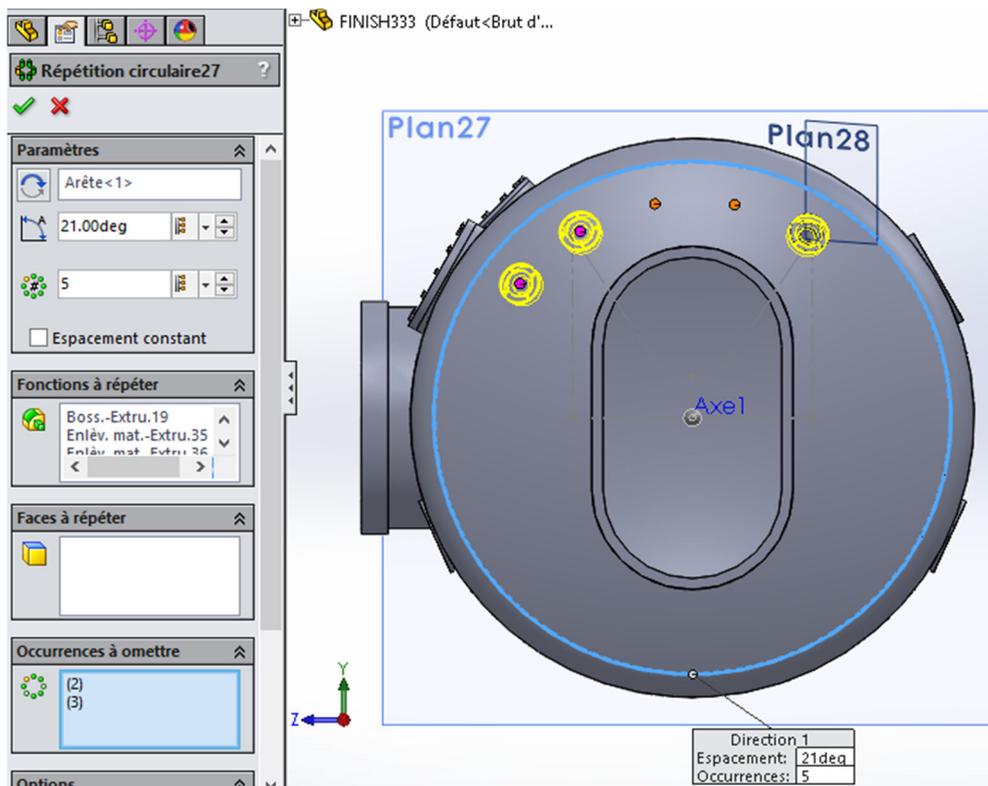


Figure 73: Répétition circulaire des trous d'hublot.

II.6.7. Création d'une Serrure de transfert de médicaments :



Figure 74: La serrure de transfert de médicaments [6].

- Sur le plan 8, on dessine une esquisse circulaire de diamètre 400 mm, puis on clique sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 75).

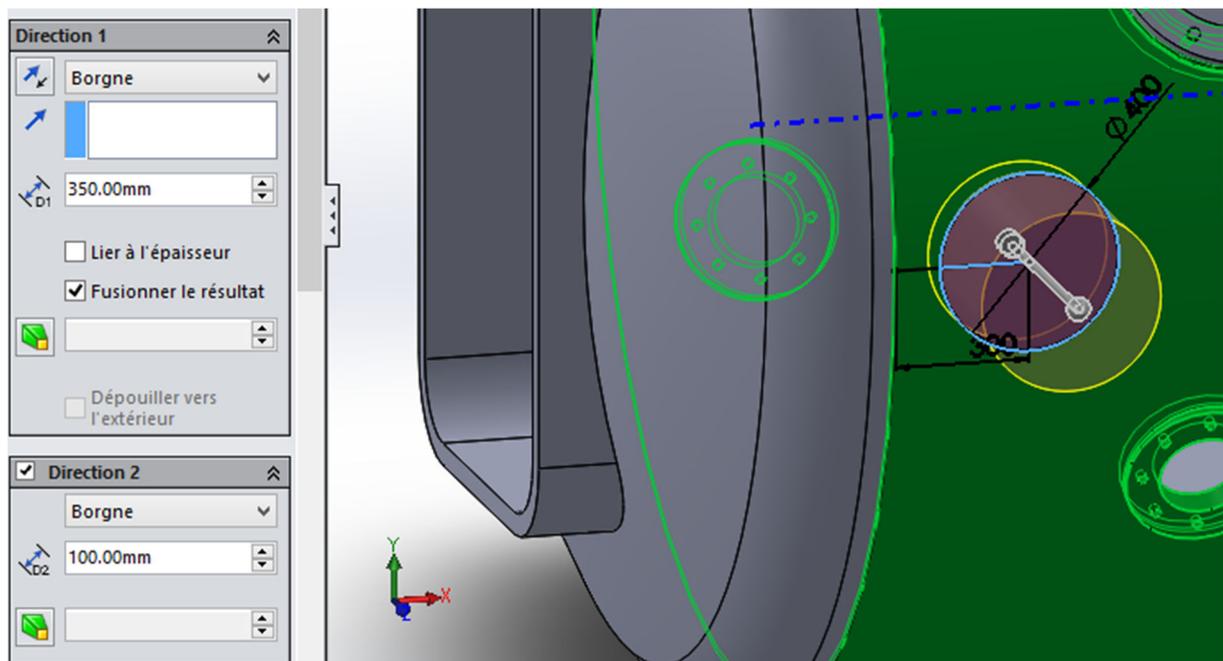


Figure 75: Fonction de base bossage par extrudé.

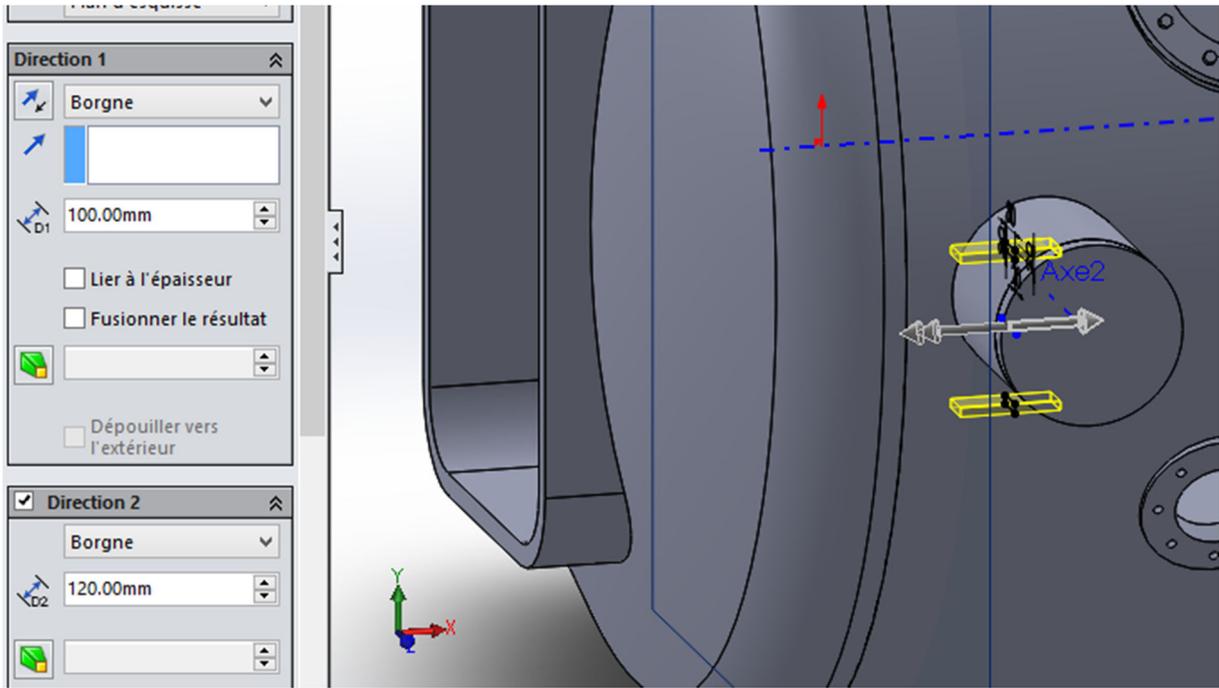


Figure 76: Fonction de base bossage par extrudé.

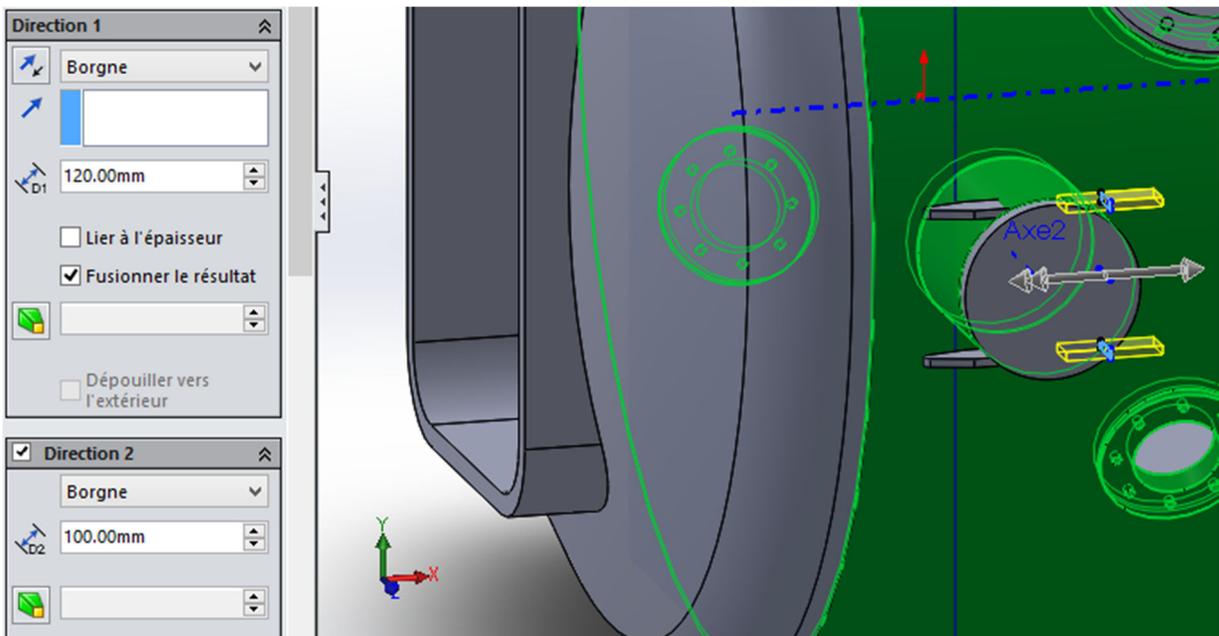


Figure 77: Fonction de base bossage par extrudé.

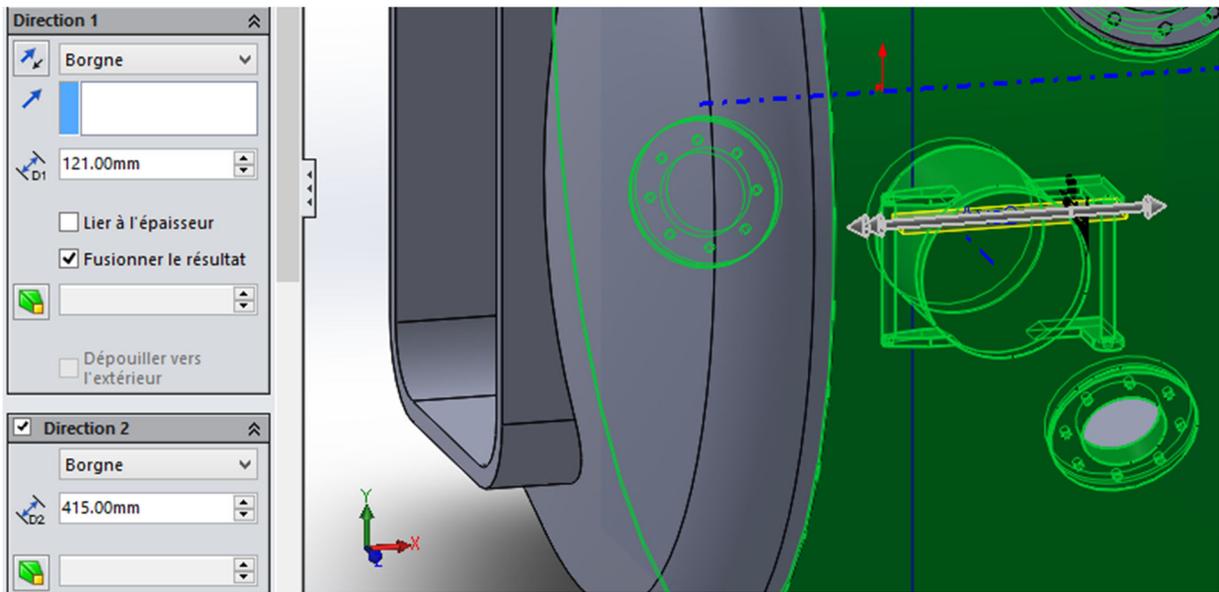


Figure 78: Fonction de base bossage par extrudé.

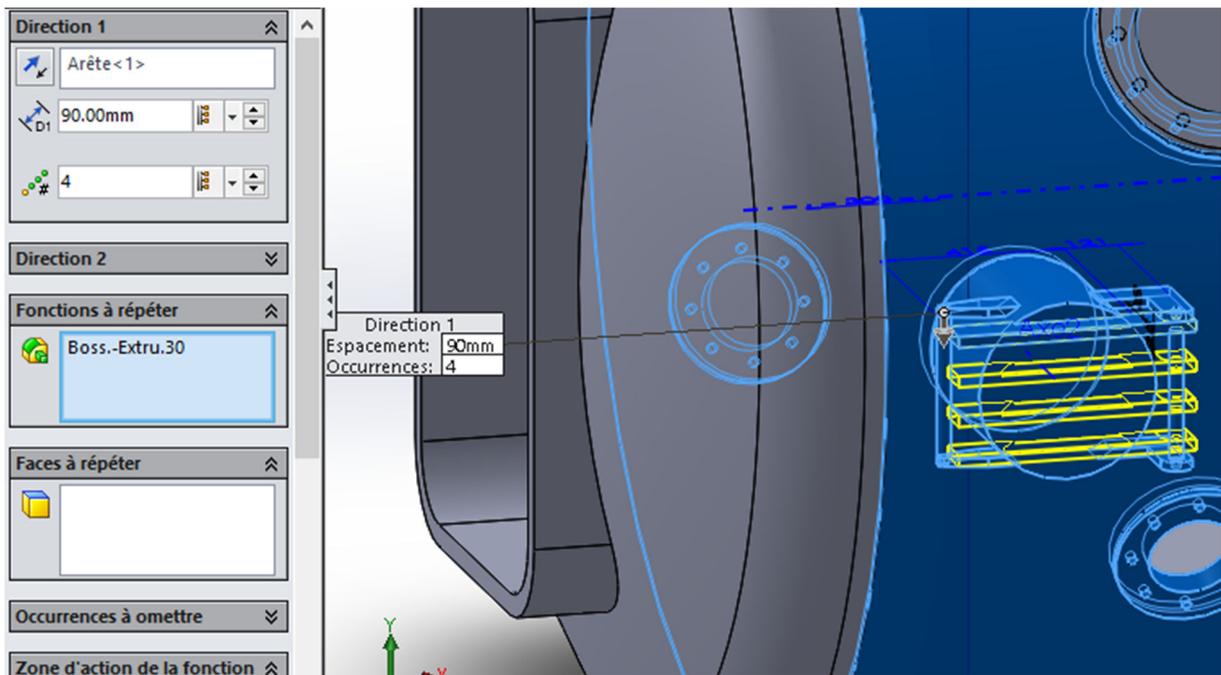


Figure 79: Répétition linéaire.

II.6.8.Création des trous des tuyauteries:

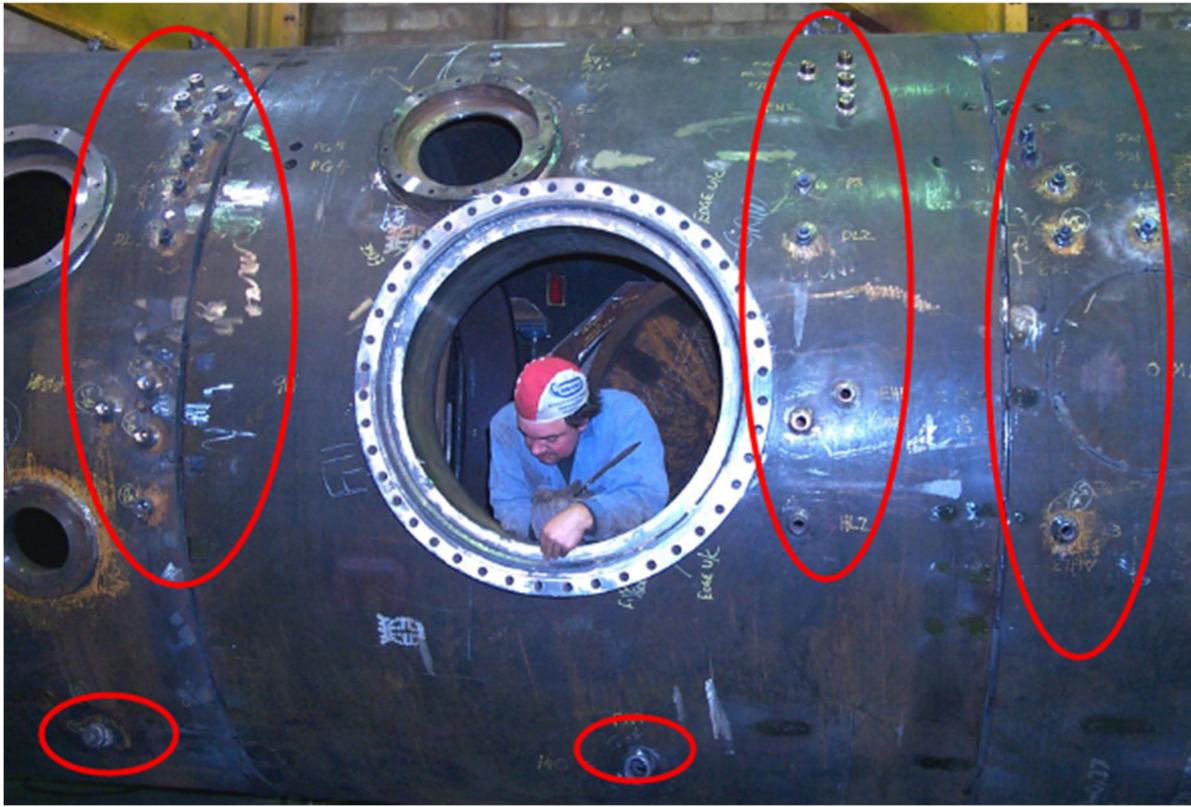


Figure 80: Trous des tuyauteries [6].

- Sur les plans 25 et 31, on dessine une esquisse de diamètre 30 mm et de 40 mm, puis on clique sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 81).

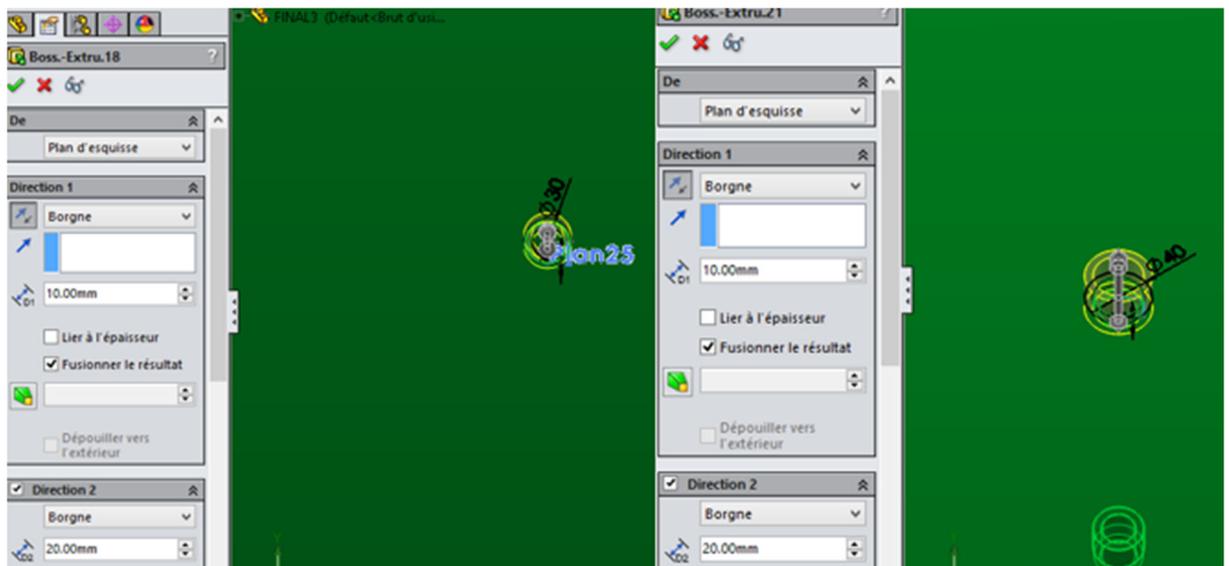


Figure 81: Fonction de base bossage par extrudé des trous.

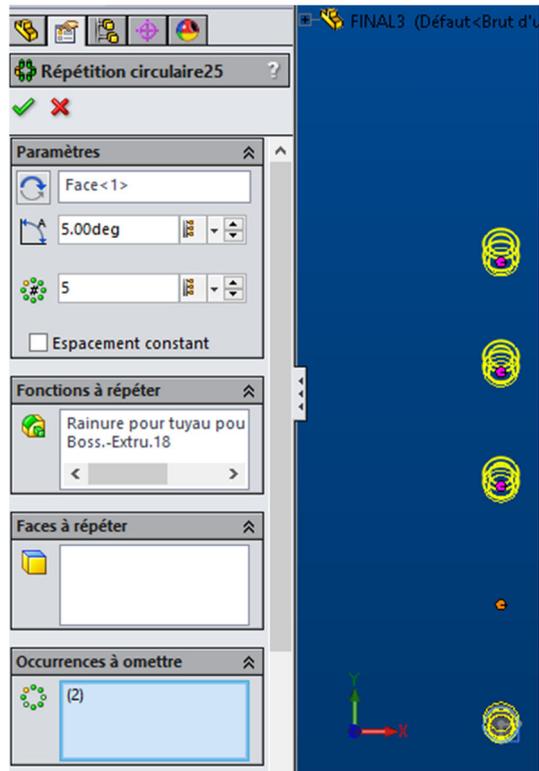


Figure 82: Répétition circulaire.

- Pour effectuer des trous de diamètre 70mm et 100mm il va falloir créer des esquisses a 70mm et 100mm sur les plans 35 et 39 (Figure 83).

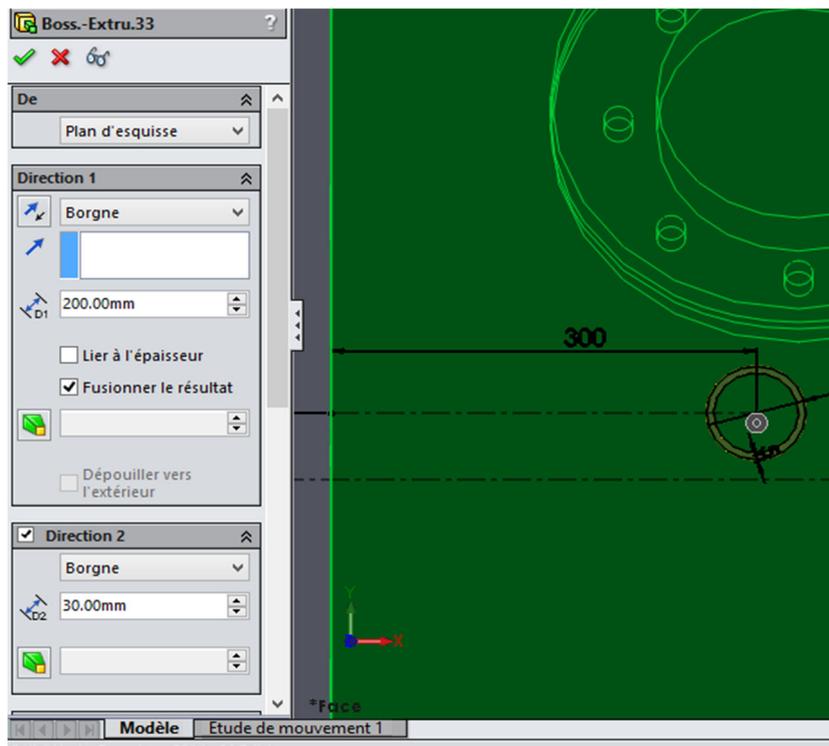


Figure 83: Fonction de base bossage par extrudé de diamètre 70 mm

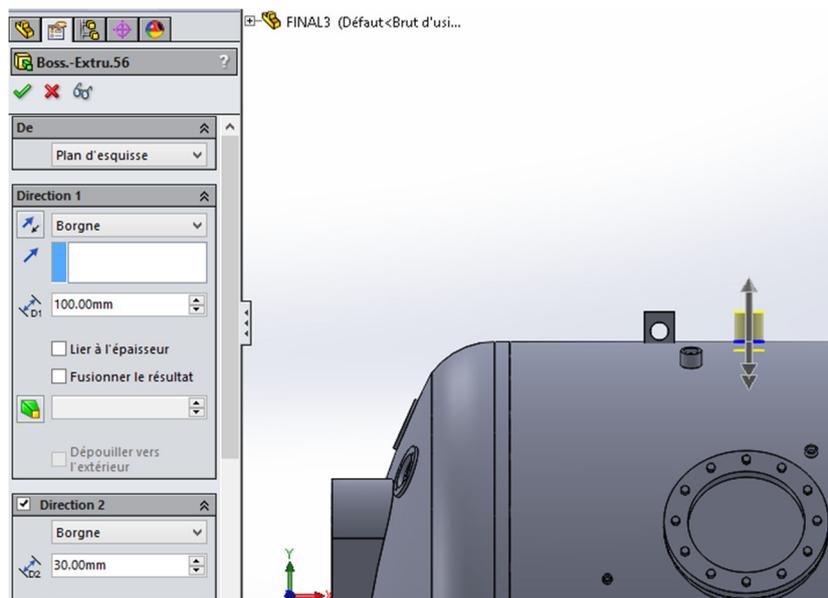


Figure 84: Fonction de base bossage par extrudé de diamètre 100 mm

- Une fois les fonctions créées, effectuez la répétition linéaire et circulaire et la fonction déplacer /copier pour créer les autres trous (Figure 85).

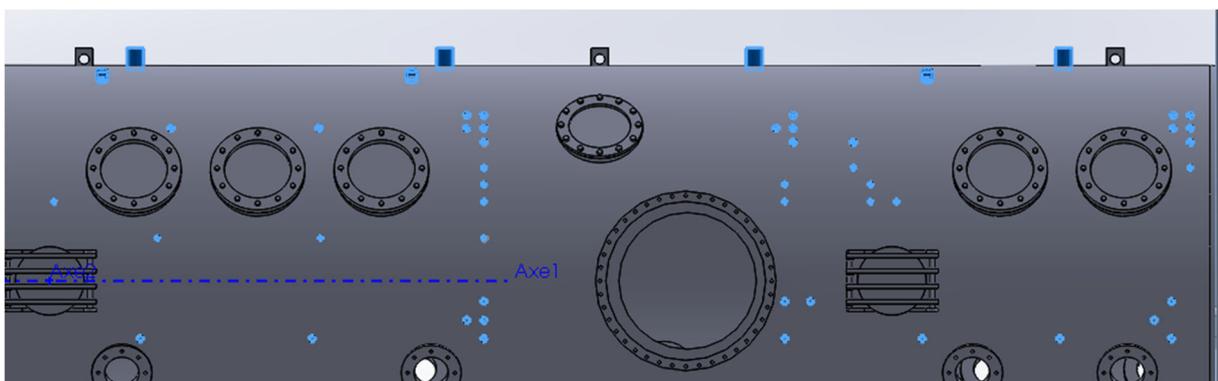


Figure 85: Fonction répétition linéaire et circulaire et déplacer /copier.

II.6.9.Création des supports :



Figure 86: Supports du caisson [6].

- Sur le plan 27, on dessine un arc de 1268 mm de rayon et d'angle 100° et de 10 mm d'épaisseur, puis on clique sur "Base/Bossage extrudé" (Figure 87).

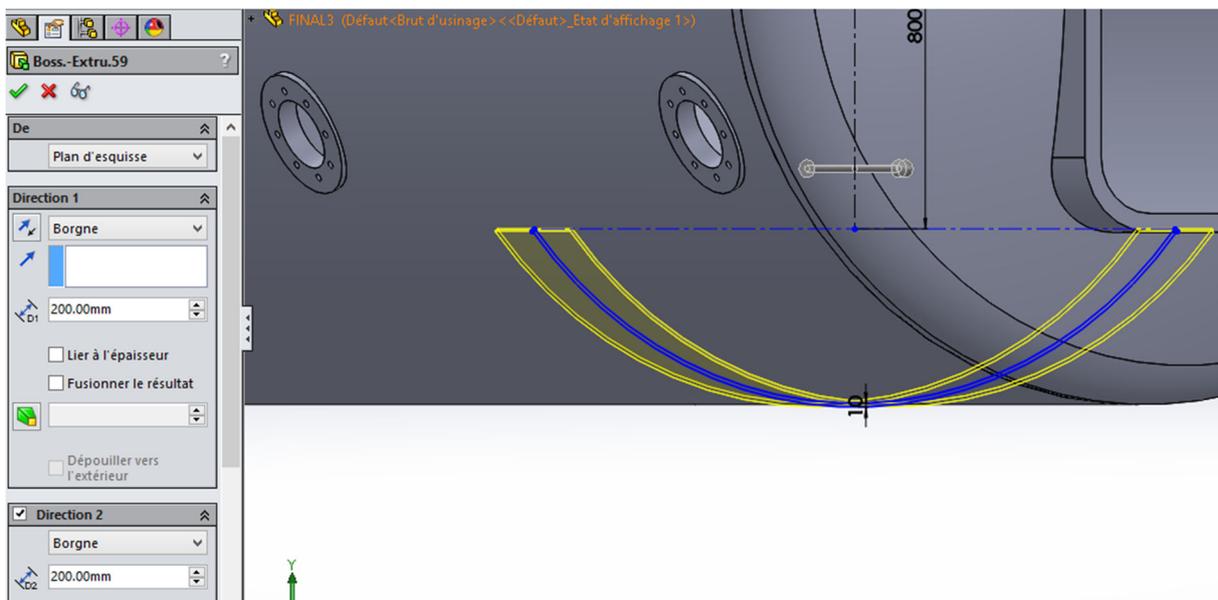


Figure 87: Fonction de base bossage par extrudé de support.

- On dessine une autre esquisse avec une hauteur de 450 mm et une largeur de 1860 mm (Figure 88)

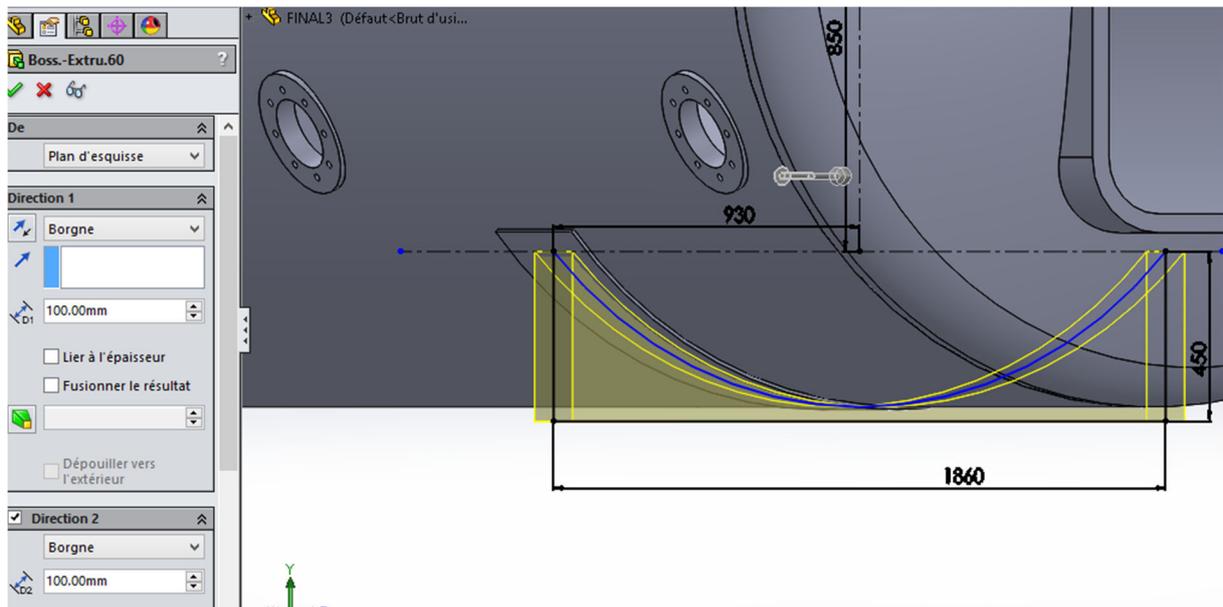


Figure 88: Fonction de base bossage par extrudé de support.

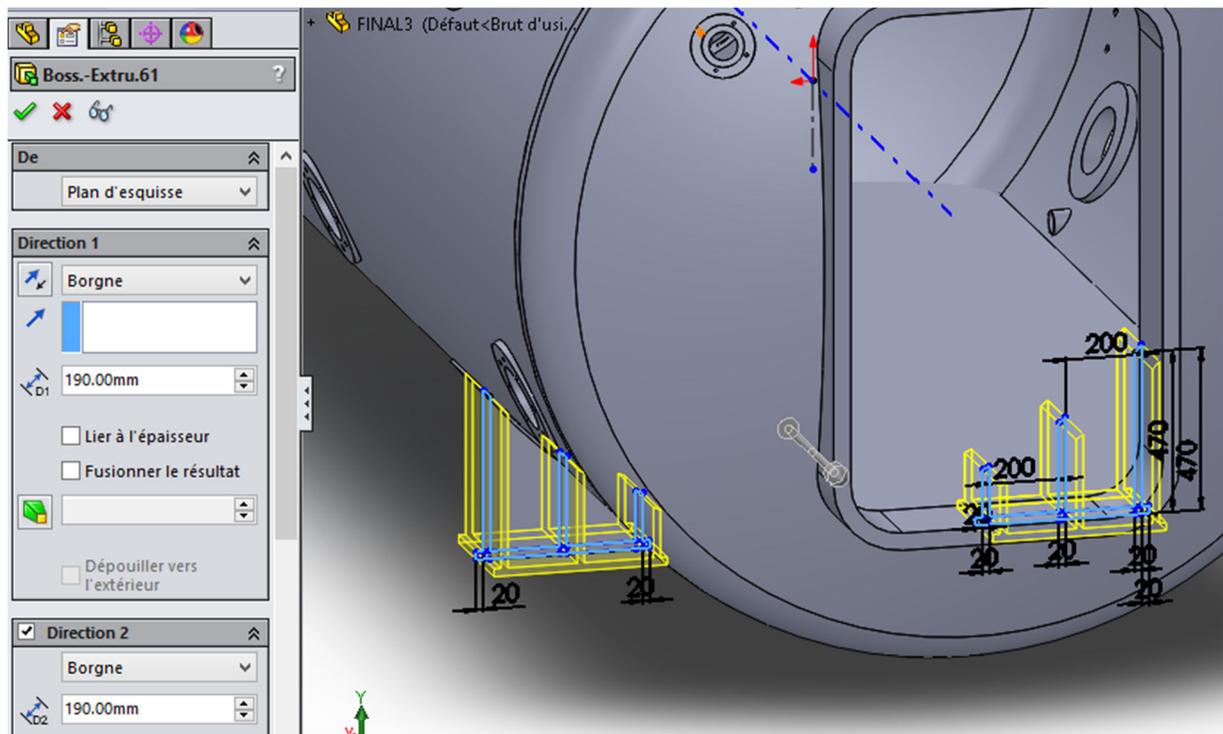


Figure 89: Fonction de base bossage par extrudé de support.

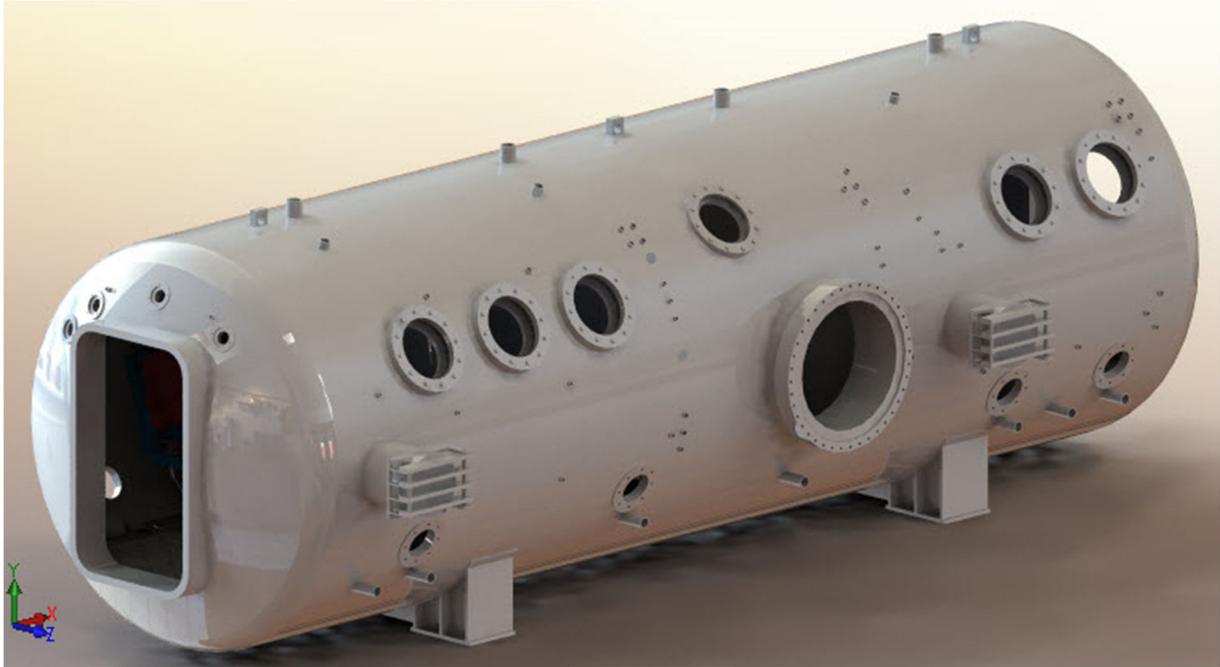


Figure 90: Conception finale.

N.B : Cette méthode de travail n'est pas la seule façon de concevoir le caisson.

- ✚ Dans ce chapitre, on a présenté une conception détaillée du caisson par SOLIDWORKS. On a abouti à une conception, qui va être notre première structure utilisée dans les prochains calculs

CHAPITRE III
PROCÉDURE DE LA MODÉLISATION DE LA
STRUCTURE AVEC ANSYS ET CALCULS
PRÉLIMINAIRES

III. Introduction :

Dans ce chapitre, nous détaillerons la modélisation de la structure avec le logiciel ANSYS. Nous effectuerons également des calculs préliminaires sur notre première conception.

III.1.Modélisation de la structure par ANSYS :

- Nous utiliserons la version 15.0 d'ANSYS.
- ANSYS possède une interface très performante appelée « ANSYS work-bench », nous allons l'utiliser dans notre simulation.

III.2.Etapes de réalisation du modèle éléments finis :

L'ouverture du logiciel fait apparaître le menu principal présenté ci-dessous.

La boîte d'outils nous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse. Pour débiter une analyse statique, Cliquez sur structure statique (ANSYS) et glisser vers le schéma de projet (Figure 91).

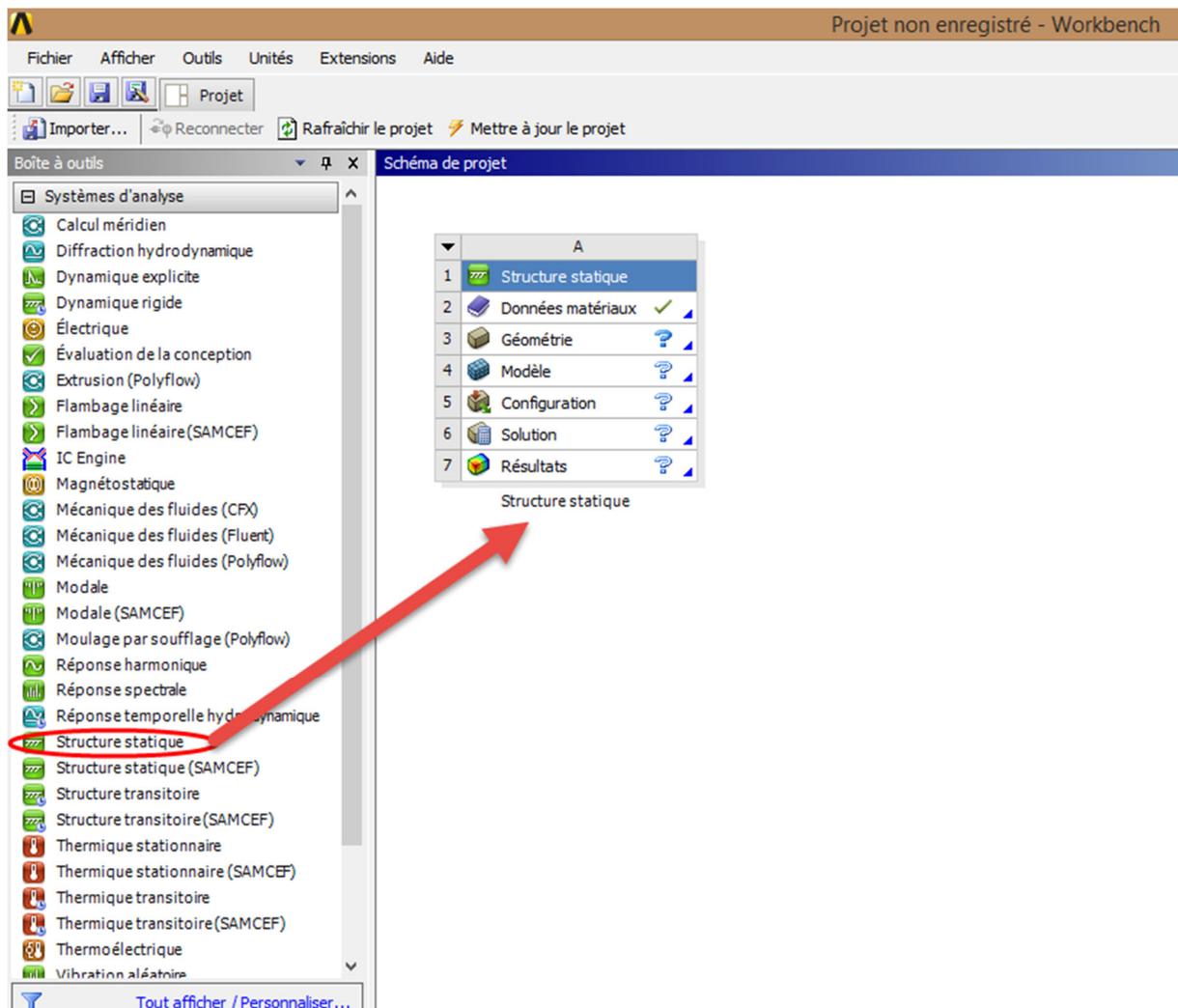


Figure 91: Choix du système d'analyse.

III.2.1. Spécification des propriétés des matériaux :

La cellule "Données matériaux" est utilisée pour définir des modèles de matériaux et accéder à ces modèles pour être utilisée dans une analyse. Cliquez sur la cellule "Données matériaux" ou cliquez à droite et choisir "Editer" dans le menu contextuel qui apparait pour entrer l'environnement (Figure 92).

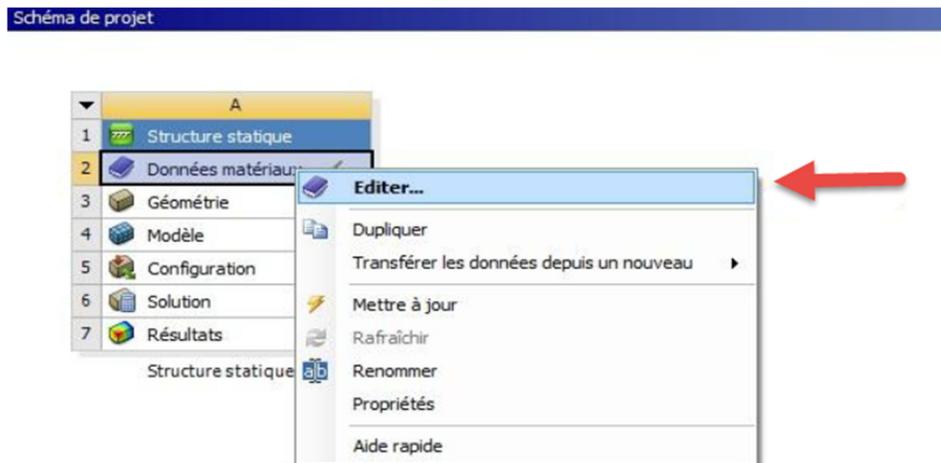


Figure 92: Spécification des propriétés du matériau.

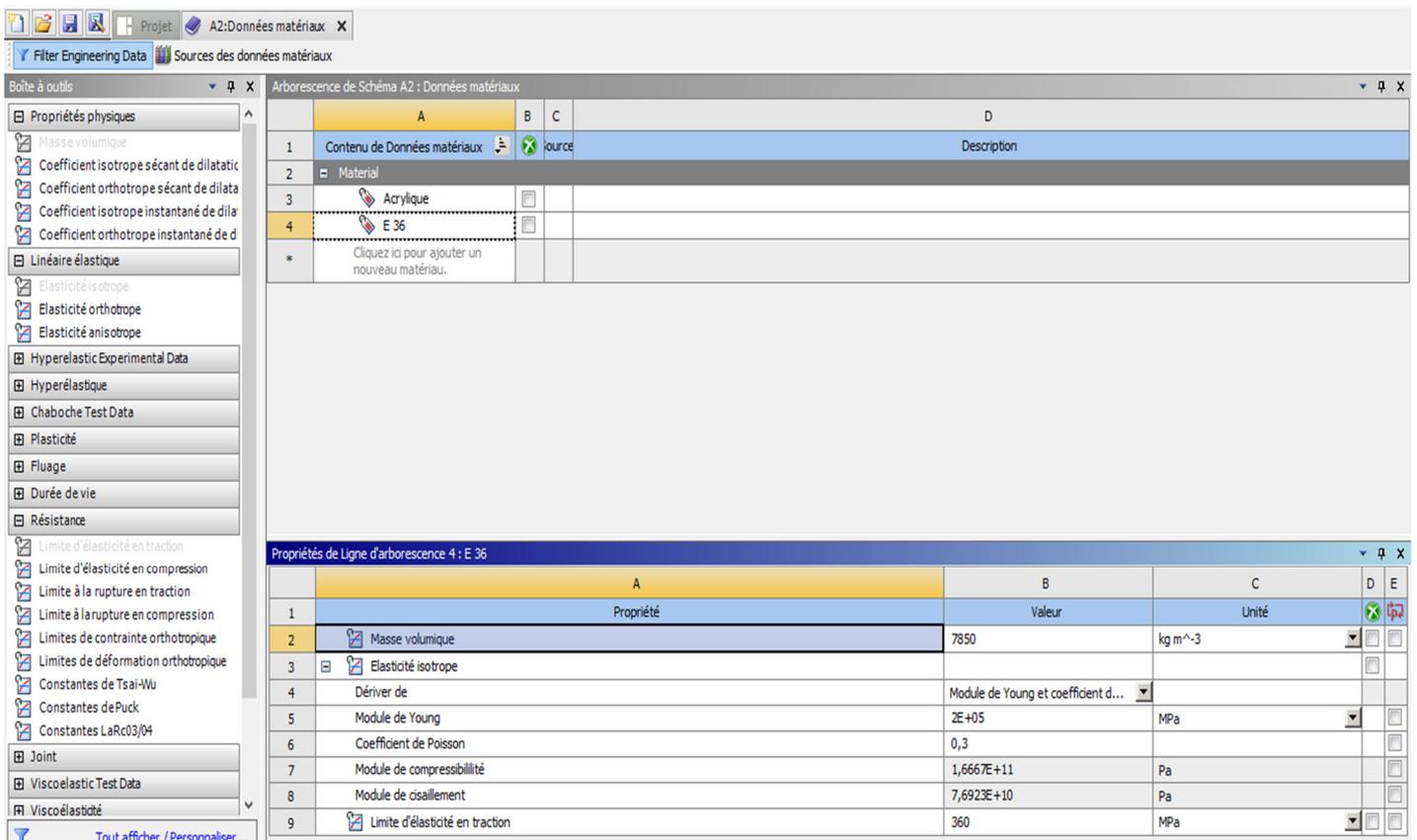


Figure 93: Edition et ajout des paramètres matériaux.

Les matériaux utilisés sont :

- l'acier E36 pour le caisson.
- le verre acrylique (plexiglas v052) pour les hublots.

Les caractéristiques mécaniques de ces matériaux sont données dans le Tableau ci-dessous :

Propriétés mécaniques	Densité Kg/m3	Limite d'élasticité(MPa)	Module de YOUNG(MPa)	Coefficient de Poisson
E36	7850	360	2.10^5	0,3
Acrylique	1190	70	3100	0,3

Tableau 05: Les caractéristiques mécaniques des matériaux.

III.2.2. Géométrie :

On ne peut pas définir des géométries compliquées comme celle du caisson avec les outils de dessin d'ANSYS. On a donc défini notre géométrie avec le logiciel "SolidWorks" avant de l'exporter vers ANSYS (Figure 94) qui accepte l'importation de différents formats IGESS, SAT ...etc.

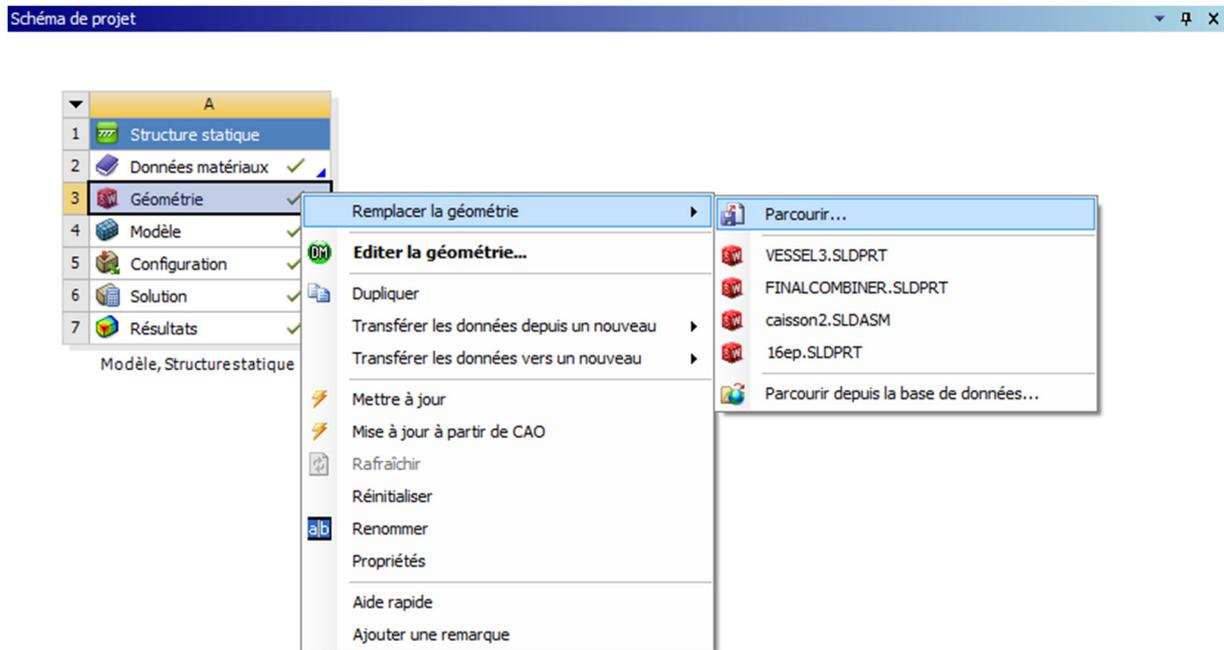


Figure 94: Importation de la géométrie.

La cellule "Modèle" est associée à la définition de la géométrie, des systèmes de coordonnées, des connexions et du maillage dans le module de simulation Mécanique. Nous allons accéder à la case "Modèle" pour affectation du matériau pour chaque composant (Figure 95).

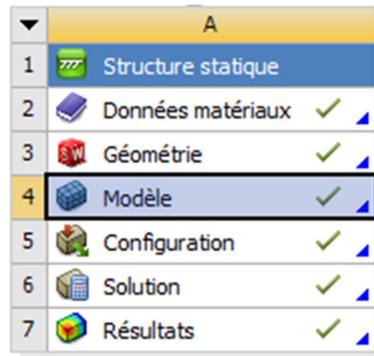


Figure 95: La case modèle.

III.2.3. Le maillage :

On a utilisé un maillage contrôlé par le programme.

Le caisson est maillé avec des éléments tétraédriques, les supports sont maillés avec des éléments hexaédriques. Le nombre total d'éléments et de nœuds est donné dans le Tableau ci-dessous.

Nombres de nœuds	Nombres d'éléments
282174	146425

Tableau 06: Le nombre total d'éléments et de nœuds.

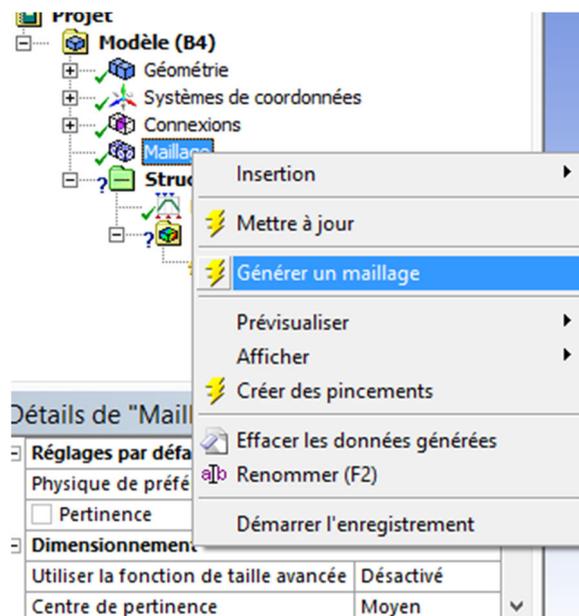


Figure 96: Menu de maillage.

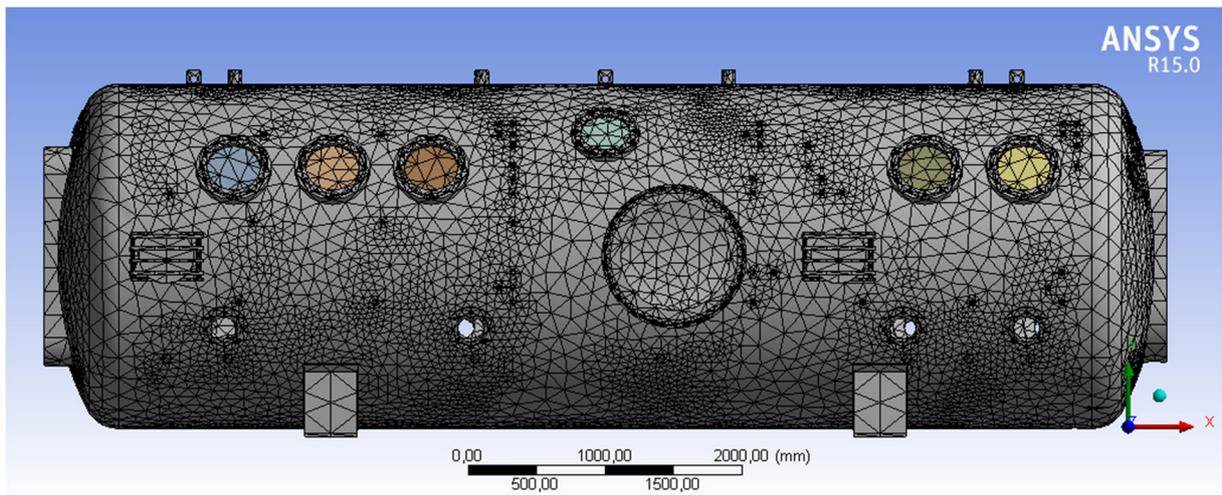


Figure 97: Caisson maillé.

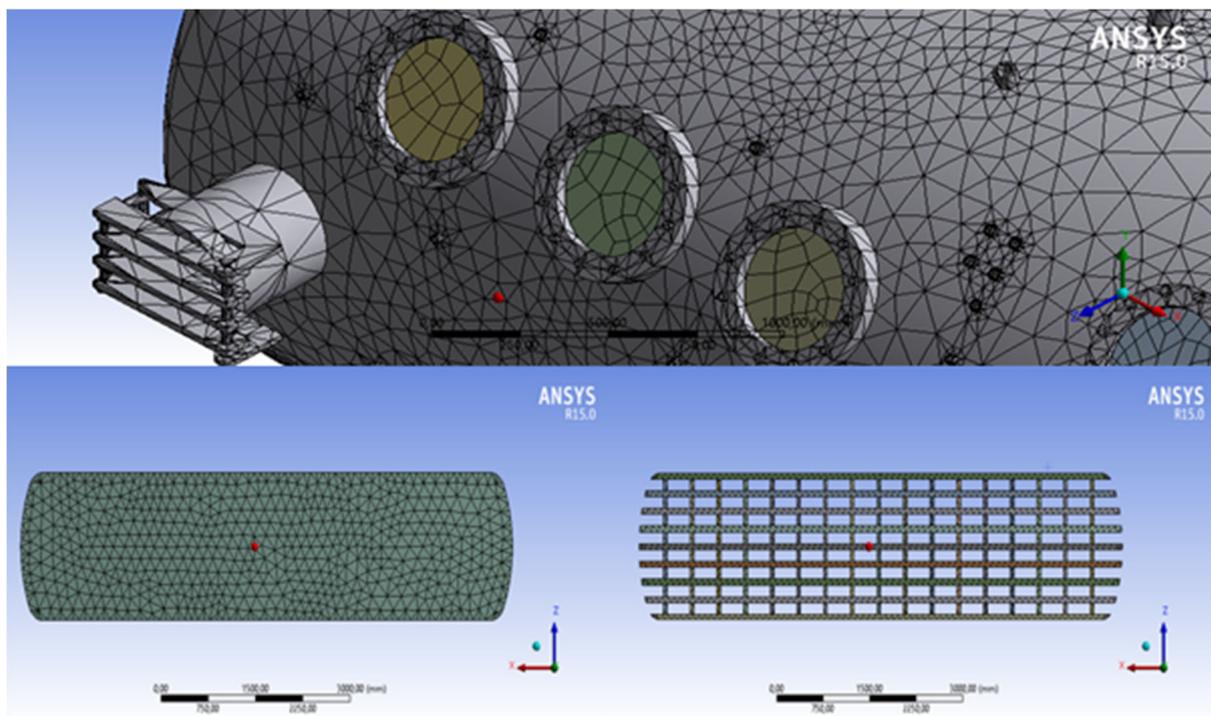


Figure 98: Zoom sur certaines zones mailées.

III.3. Calculs préliminaires

Afin de tester la conception initiale, nous allons effectuer un premier calcul. Nous précisons ci-dessous les conditions aux limites.

III.3.1. Conditions aux limites en déplacement :

Le support du caisson est constitué de deux appuis. Nous appliquerons des conditions d'encastrement sur ces deux appuis (Figure 100).

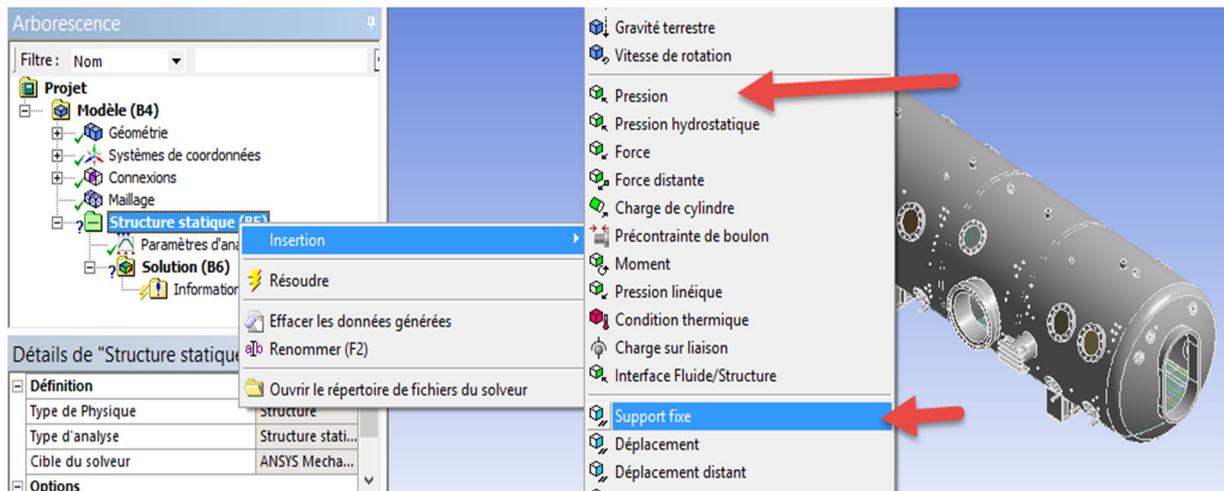


Figure 99: Menu d'insertion support fixe.

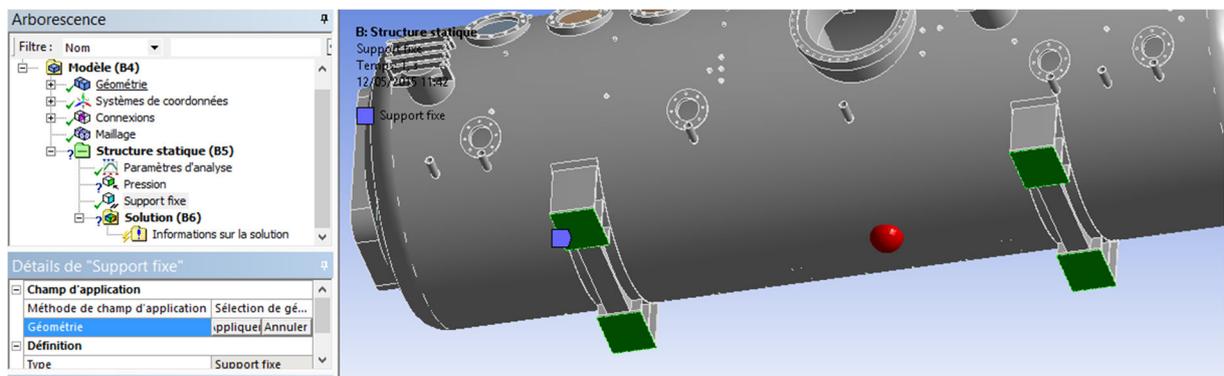


Figure 100: Sélection des supports.

III.3.2. Application de la pression :

La pression maximale que supporte le caisson en fonctionnement est de **7 bars** [5], nous effectuerons les calculs avec une pression de **14 bars**, ce qui correspond à un coefficient de sécurité de **2**. Pour les calculs effectués dans ce chapitre, on va appliquer la pression sur tout le caisson. Les dimensions préliminaires de la structure sont données dans le Tableau 7.

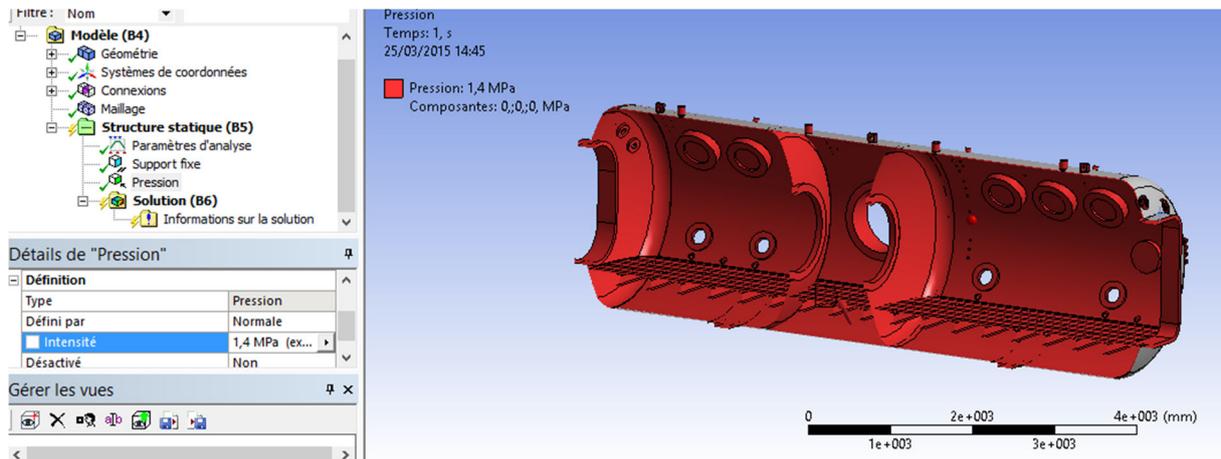


Figure 101: Sélection des faces où appliquer la pression.

Paramètres de mesure	Longueur	Diamètre	Epaisseur de tôle	Epaisseur du verre	Diamètre du verre
Valeurs (mm)	8184	2500	12	40	450

Tableau 7: Dimensions préliminaires du caisson.

III.4.Echec de la résolution numérique :

Lors de l'exécution du solveur d'ANSYS, un message d'erreur est apparu (Figure 102). Ce message explique que la mémoire de l'ordinateur est insuffisante pour exécuter le calcul. Nous avons déduit que la raison de cet échec est la complexité de la structure qui nécessite un nombre très élevé de nœuds et d'éléments dans le maillage (tableau 06).

Afin de pouvoir exécuter le calcul, nous avons simplifié la conception en enlevant un certain nombre de détails :

- Les trous de tuyauteries
- Les supports supérieurs
- Les serrures de transferts de médicament

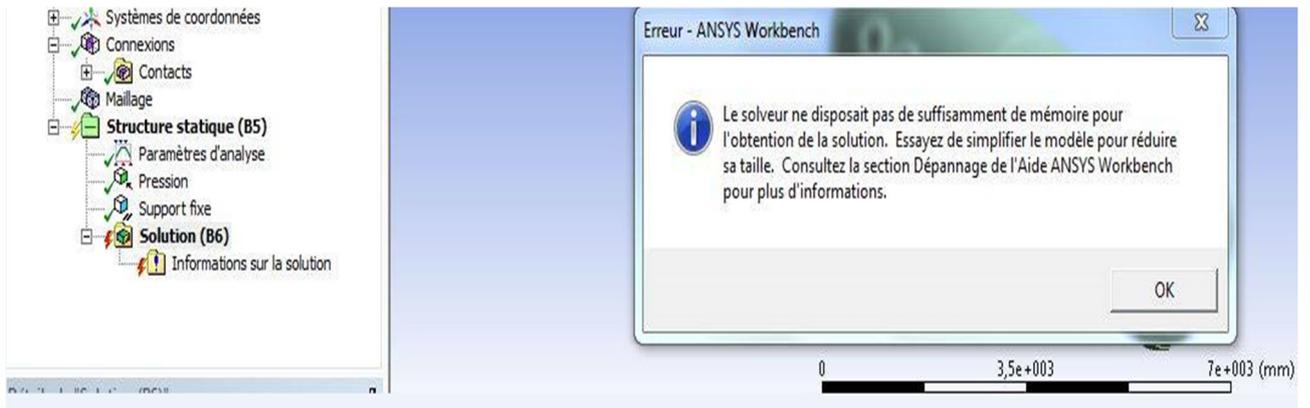


Figure 102: Message signifiant l'échec de la résolution

III.5. Conception simplifiée :

Nous présentons sur les Figures ci-dessous, la nouvelle conception simplifiée. Nous la comparons également avec l'ancienne conception afin de mettre en évidence le degré de simplification.

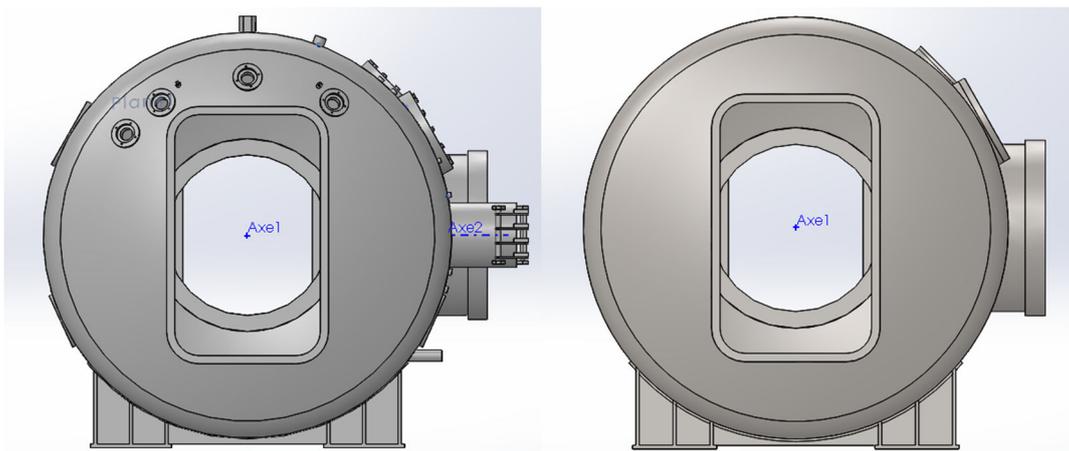


Figure 103: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 1).

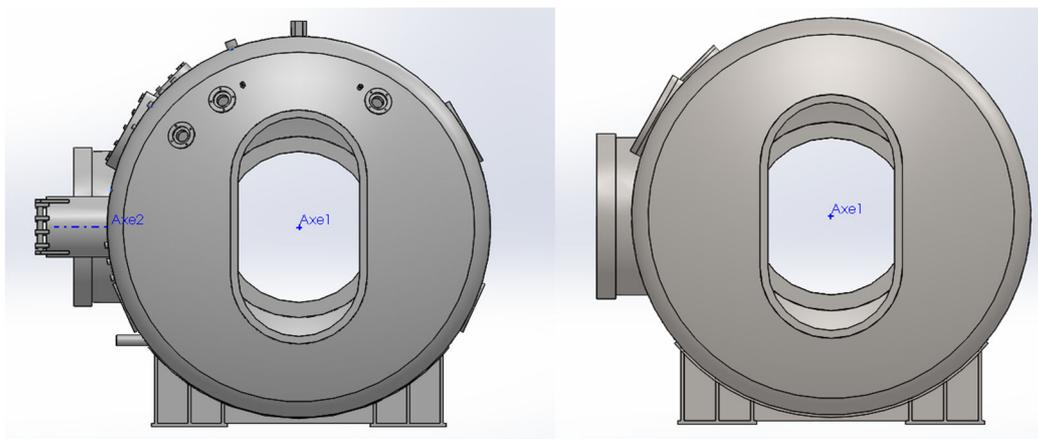


Figure 104: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 2).

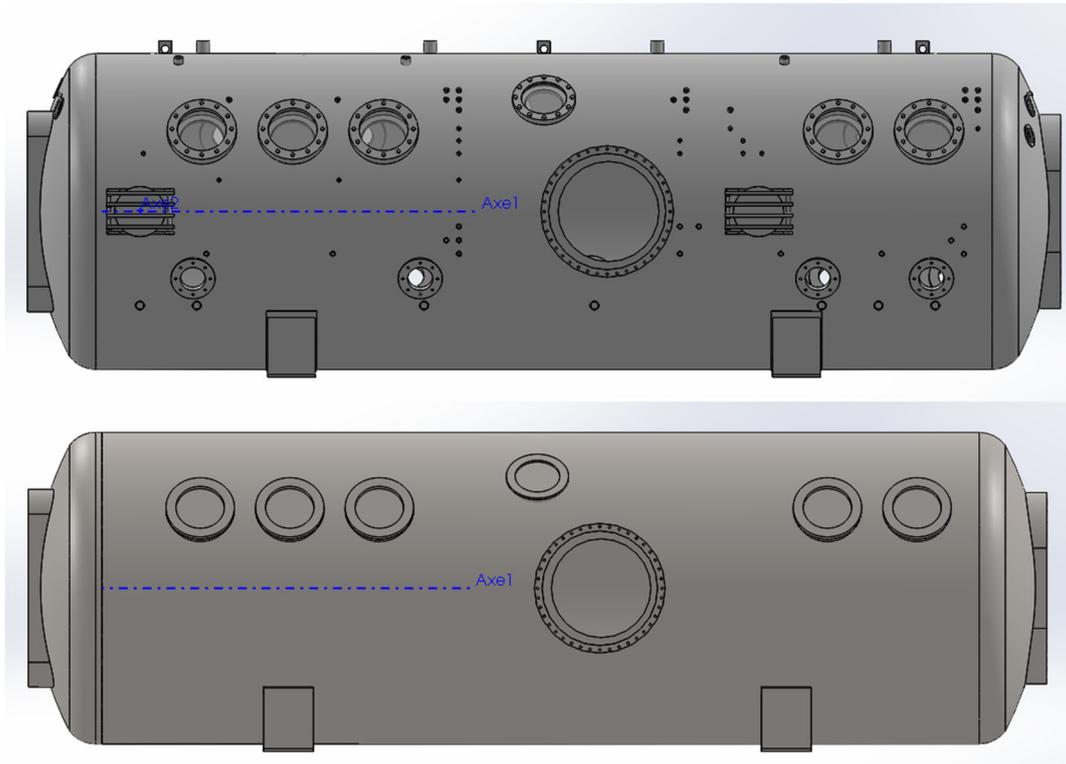


Figure 105: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 3).

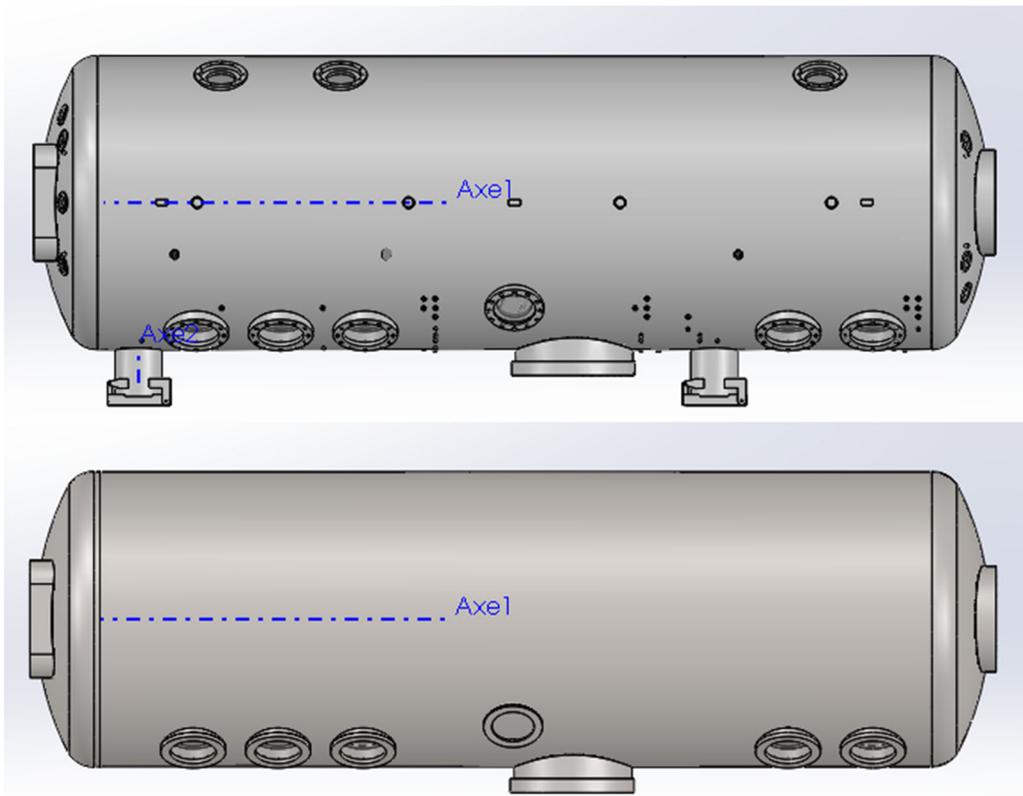


Figure 106: La comparaison entre les deux conceptions l'ancienne et la nouvelle (vue 4).

III.5.1. Maillage de la conception simplifiée :

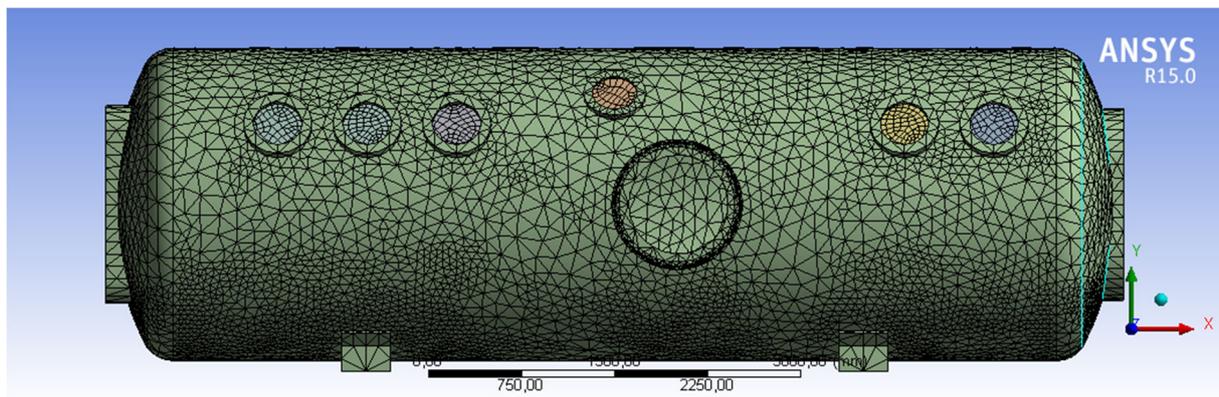


Figure 107: Caisson maillé (conception simplifiée).

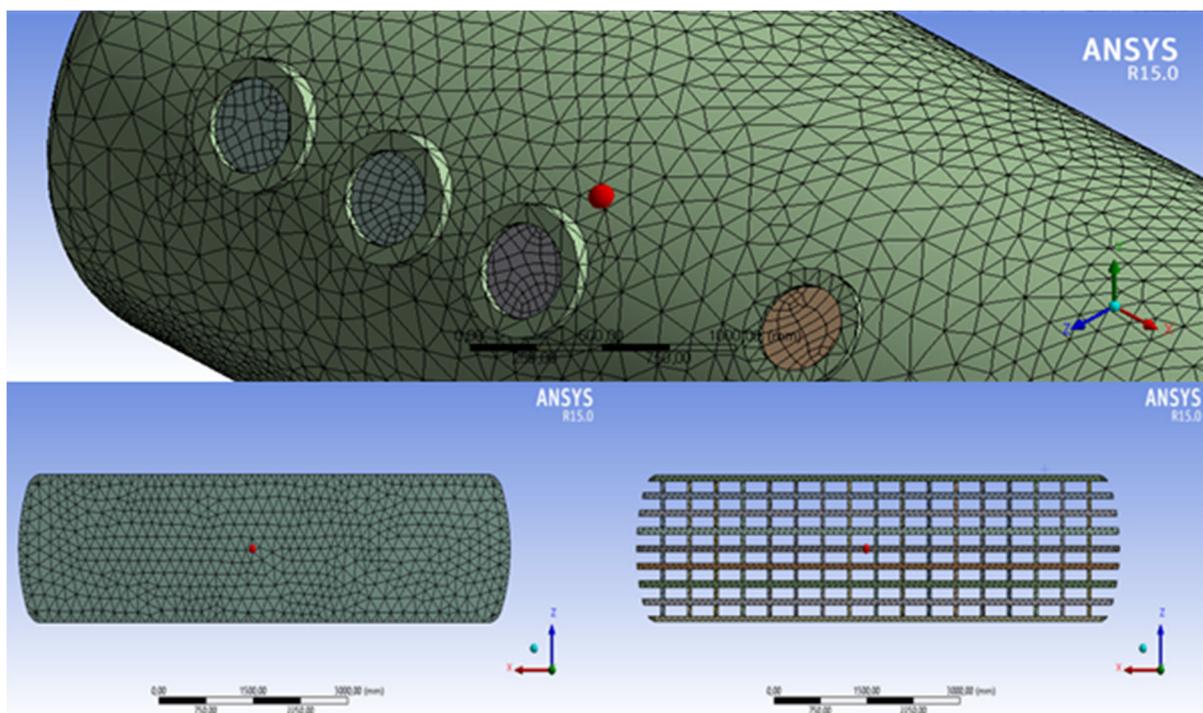


Figure 108: Zoom sur certaines zones maillées (conception simplifiée).

Nombres de nœuds	Nombres d'éléments
215139	88832

Tableau 08: Le nombre total d'éléments et de nœuds (conception simplifiée).

Nous avons réduit le nombre d'élément de 146425 à 88832, et le nombre de nœuds de 282174 à 215139.

III.5.2. Conditions aux limites :

Les conditions aux limites en déplacement sont les mêmes que pour l'ancienne conception. Pour la pression, nous considérons plusieurs cas, détaillés ci-dessous, correspondant aux différents cas de fonctionnement du caisson.

❖ Calcul I : Pression appliquée sur la première chambre du caisson (Figure 109) :

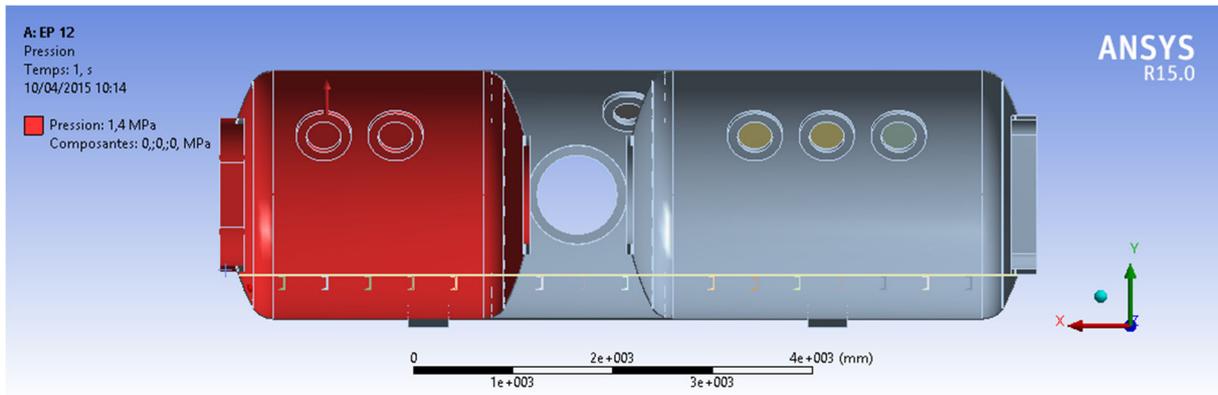


Figure 109: Calcul I.

❖ Calcul II: Pression appliquée sur la deuxième chambre (Figure 110):

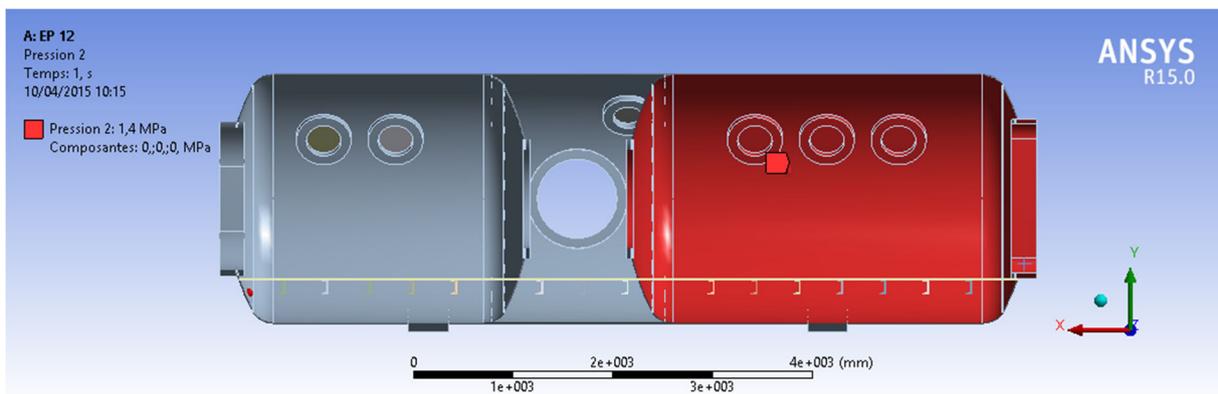


Figure 110: Calcul II.

❖ Calcul III: Pression appliquée sur les deux chambres (Figure 111) :

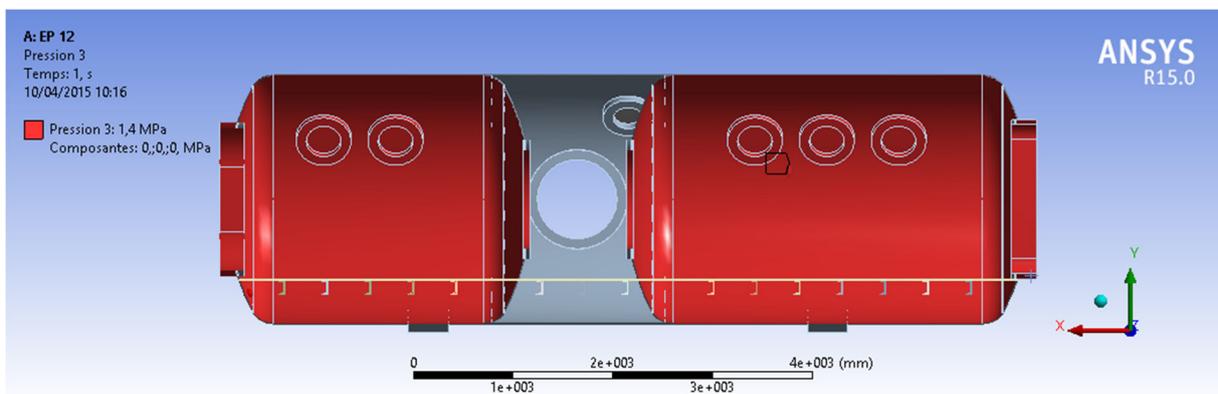


Figure 111: Calcul III.

❖ Calcul IV: Pression appliquée sur tout le caisson (Figure 112) :

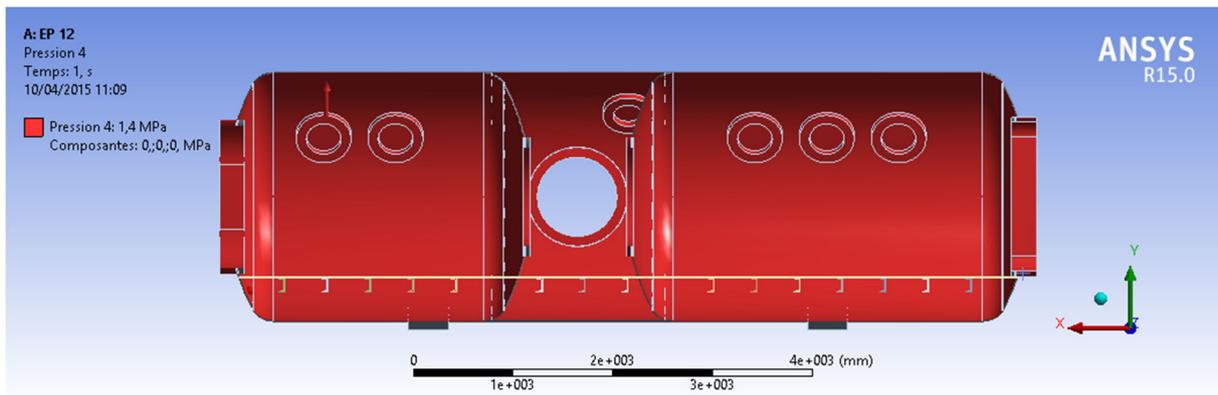


Figure 112: Calcul IV.

III.6. Résultats :

III.6.1. Calcul I :

Nous présenterons sur les Figures (113) a (117) les contraintes équivalentes dans les diverses parties de la structure. La Figure (113) montre que les zones dangereuses se situent au niveau des extrémités du fond bombé.

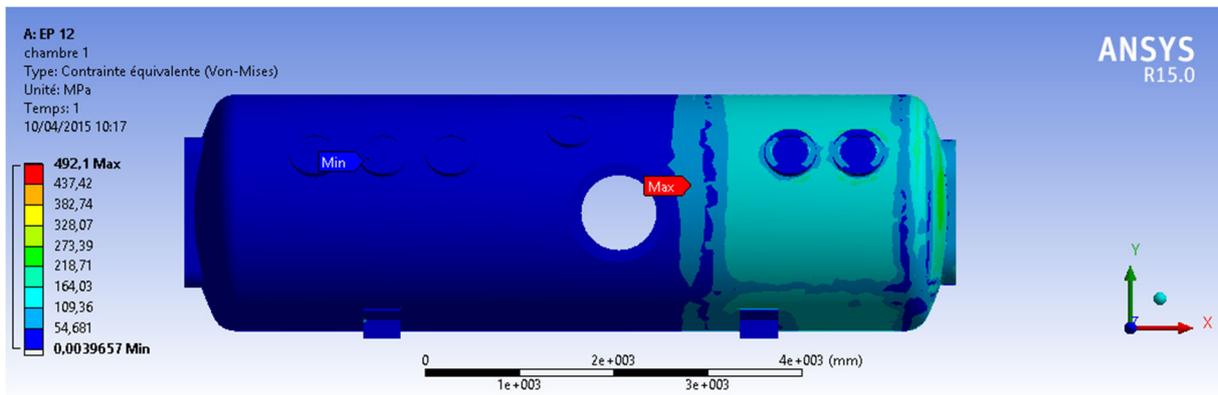


Figure 113: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul I).

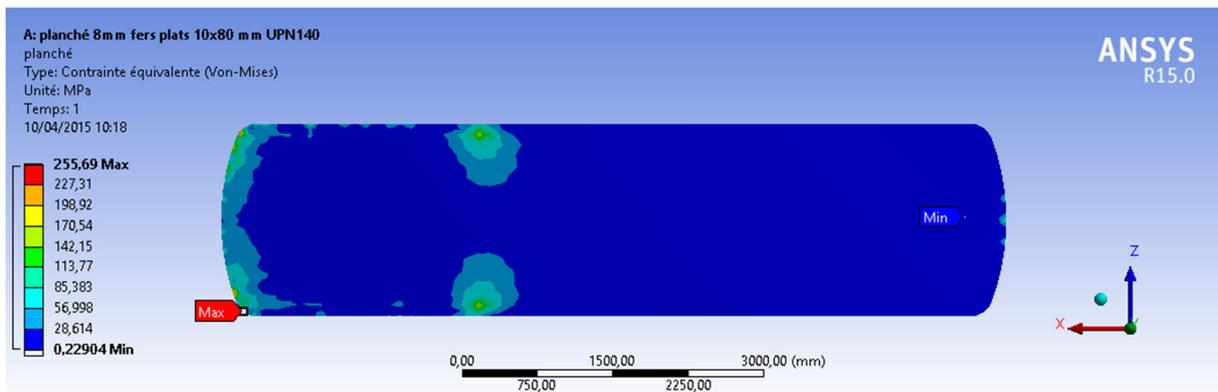


Figure 114: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul I).

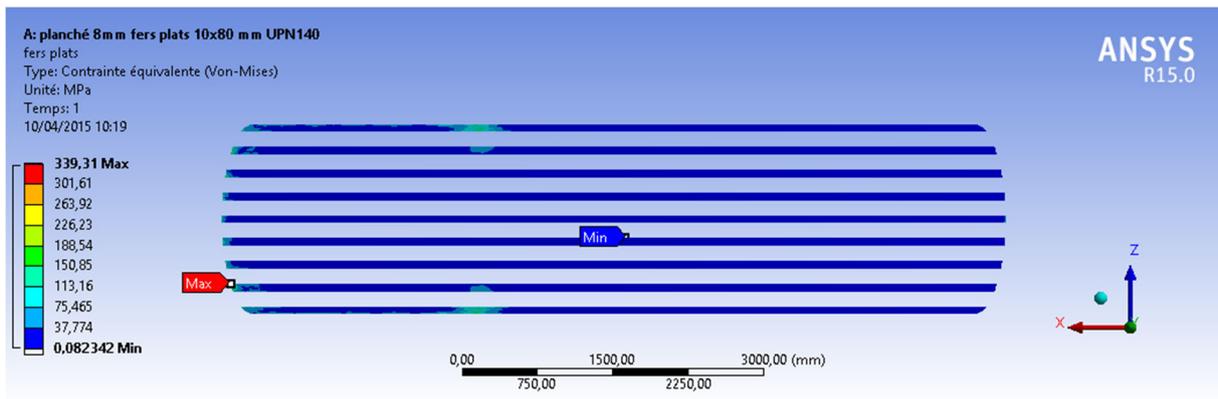


Figure 115: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul I).

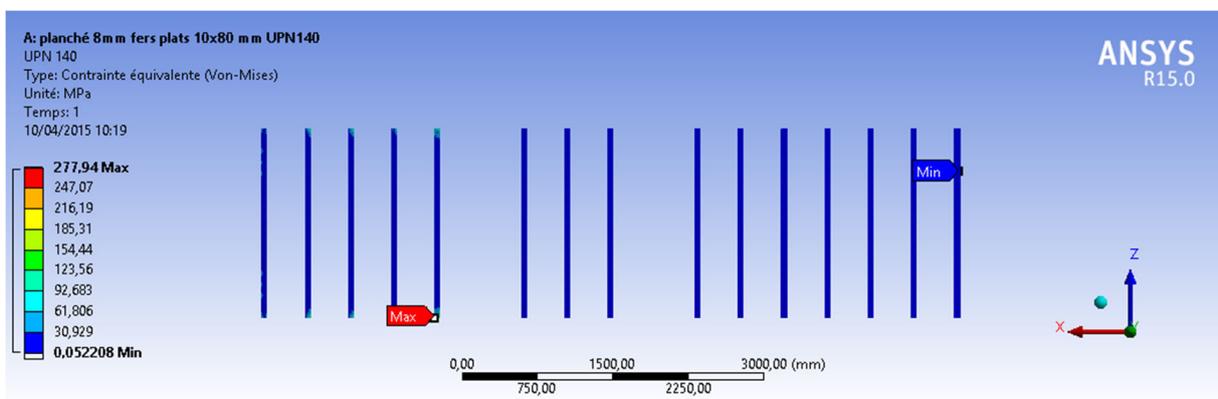


Figure 116: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul I).

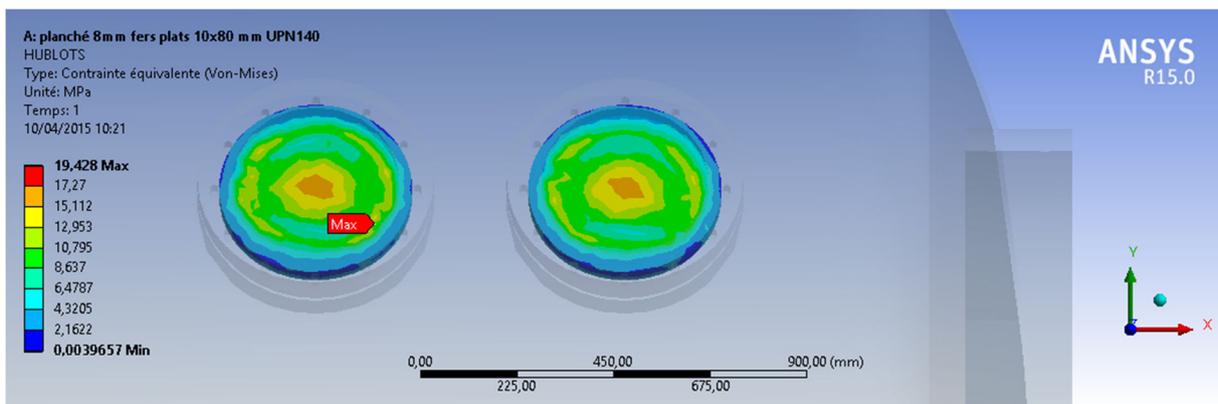


Figure 117: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul I).

III.6.2. Calcul II :

Nous présentons les valeurs des contraintes équivalentes dans différentes composantes de la structure (Figures 118 à 122). Nous constaterons que la contrainte équivalente maximale est de 458,33MPa, et est située au niveau du fond bombé.

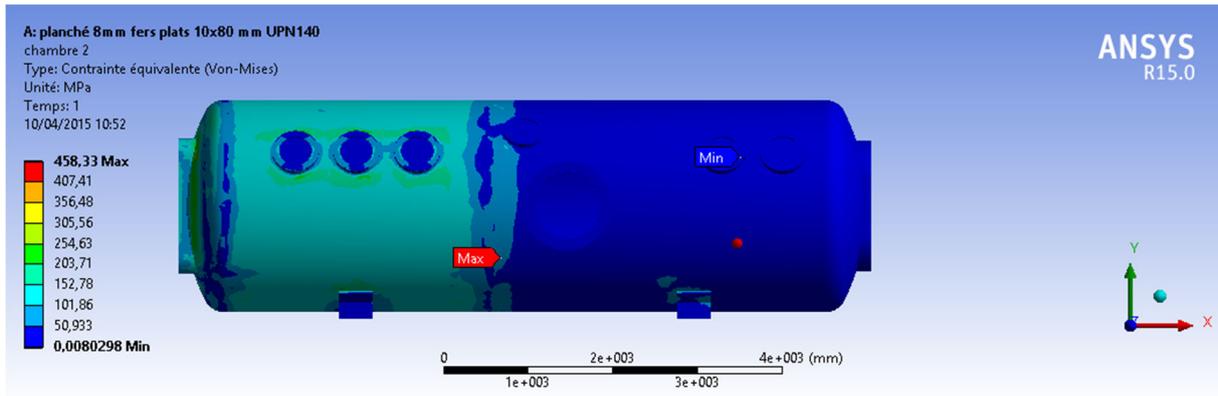


Figure 118: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul II).

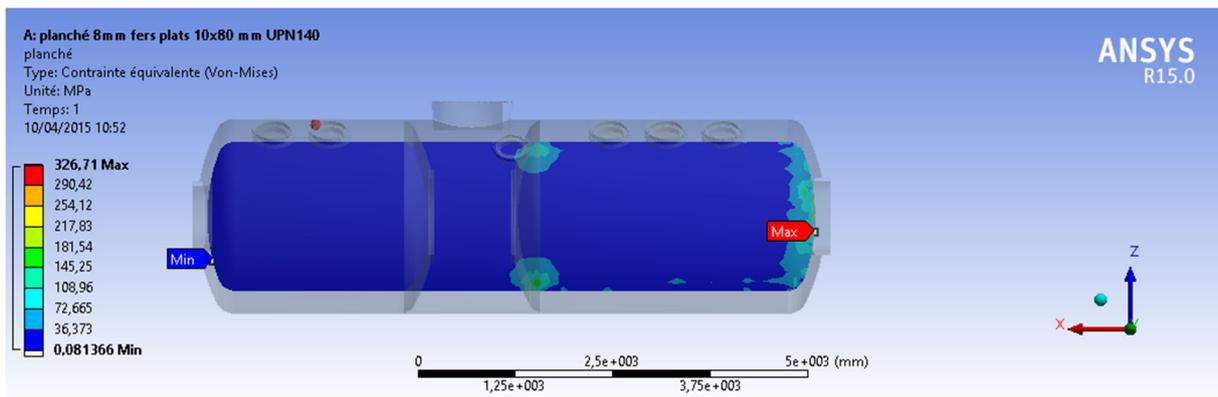


Figure 119: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul II).

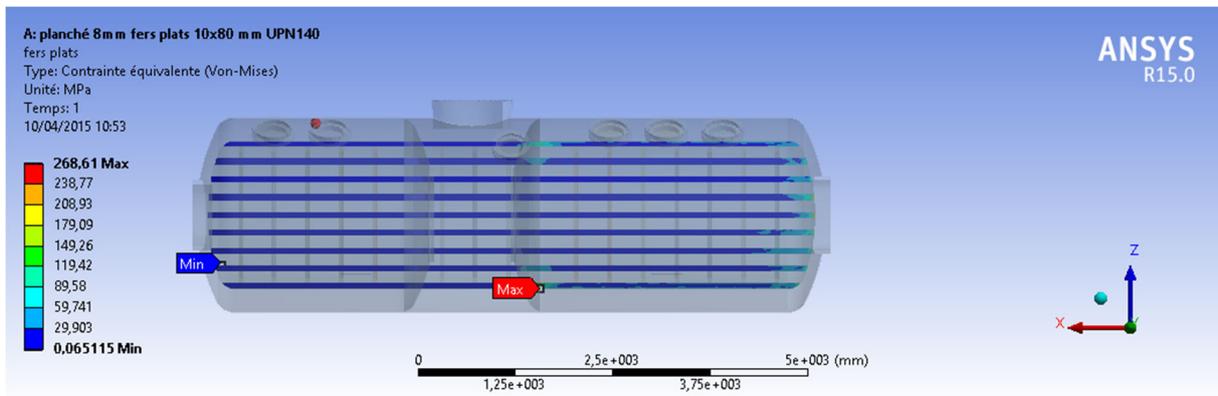


Figure 120: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul II).

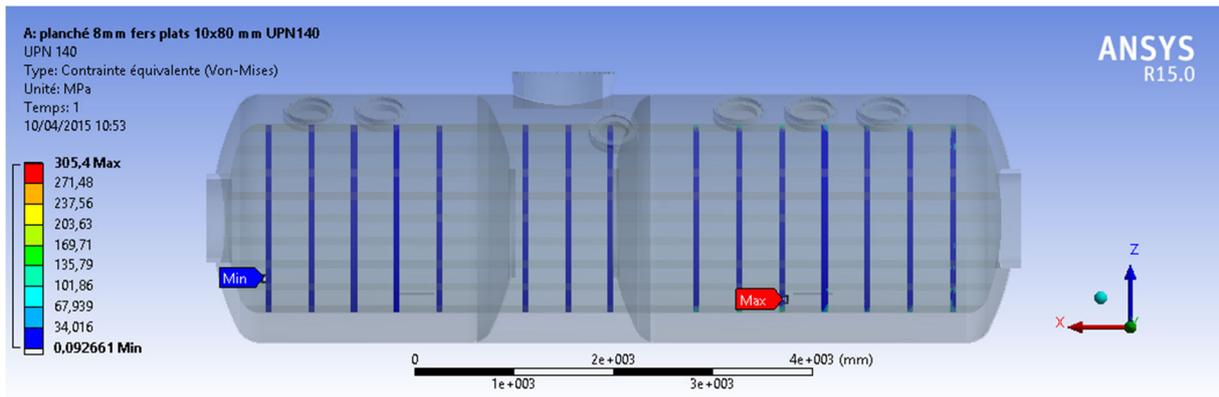


Figure 121: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul II).

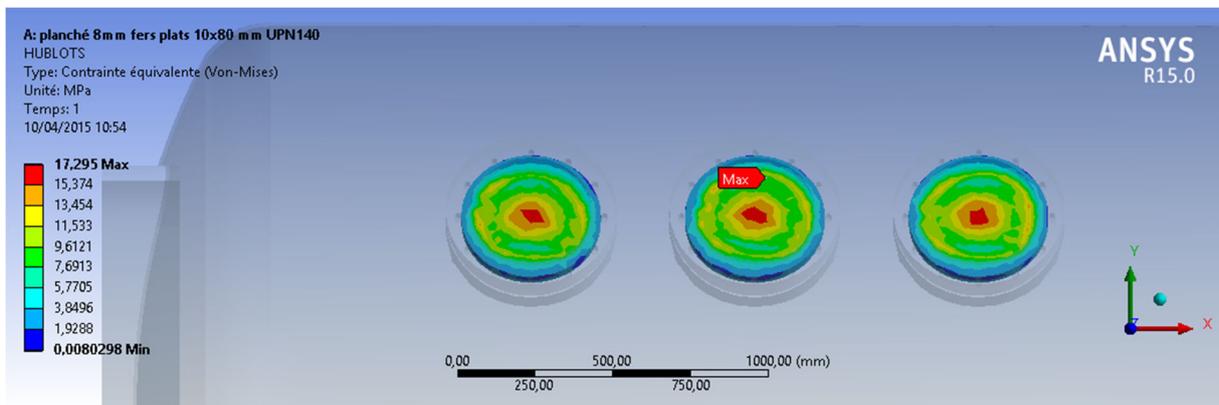


Figure 122: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul II).

III.6.3. Calcul III :

- La contrainte équivalente maximale est de 489,28MPa, et est située au niveau du fond bombé.

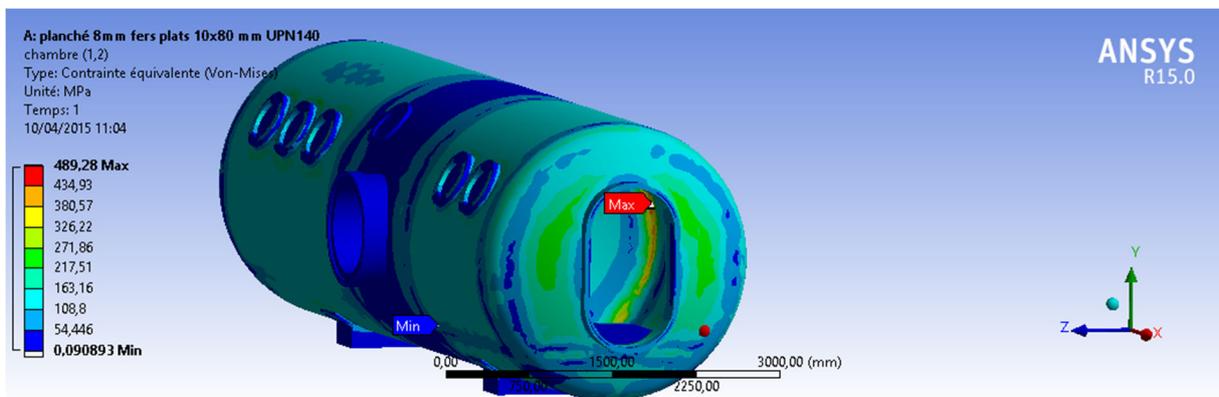


Figure 123: Contraintes équivalentes dans les deux chambres (Calcul III).

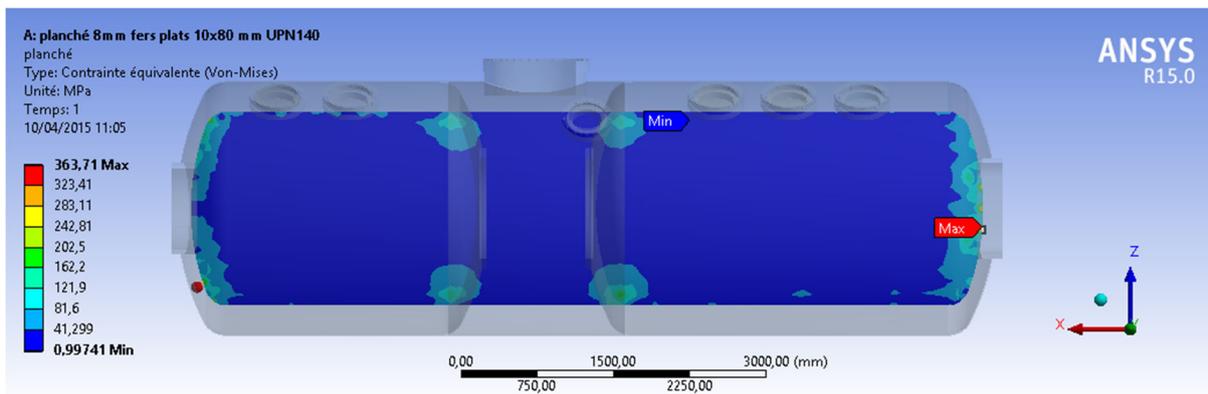


Figure 124: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul III).

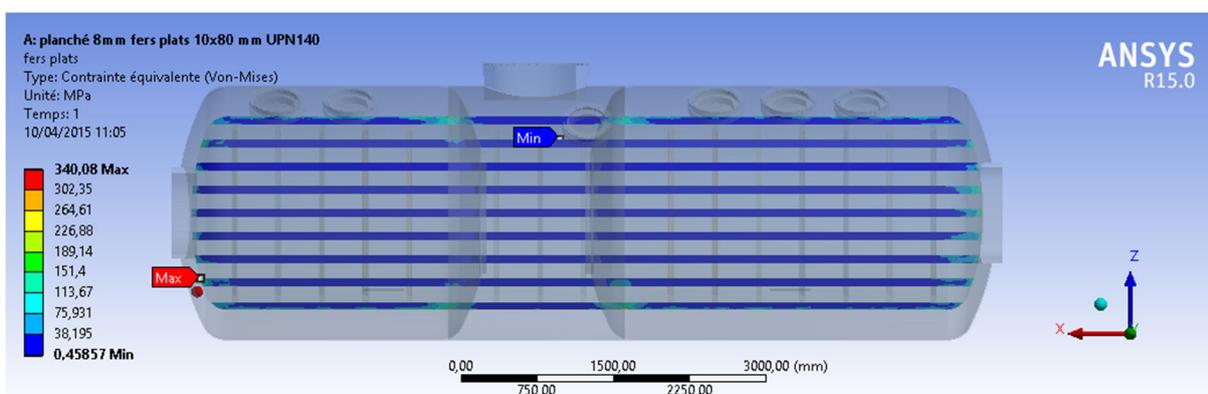


Figure 125: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul III).

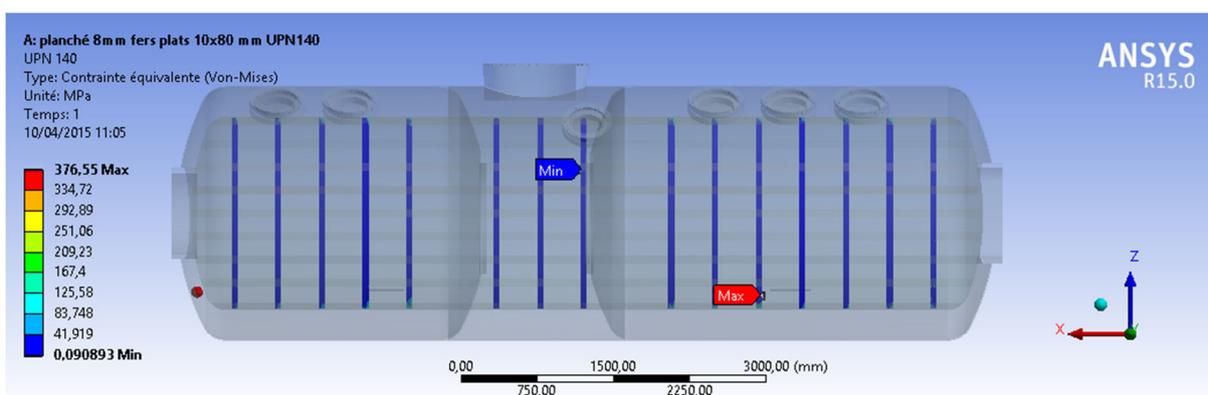


Figure 126: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul III).

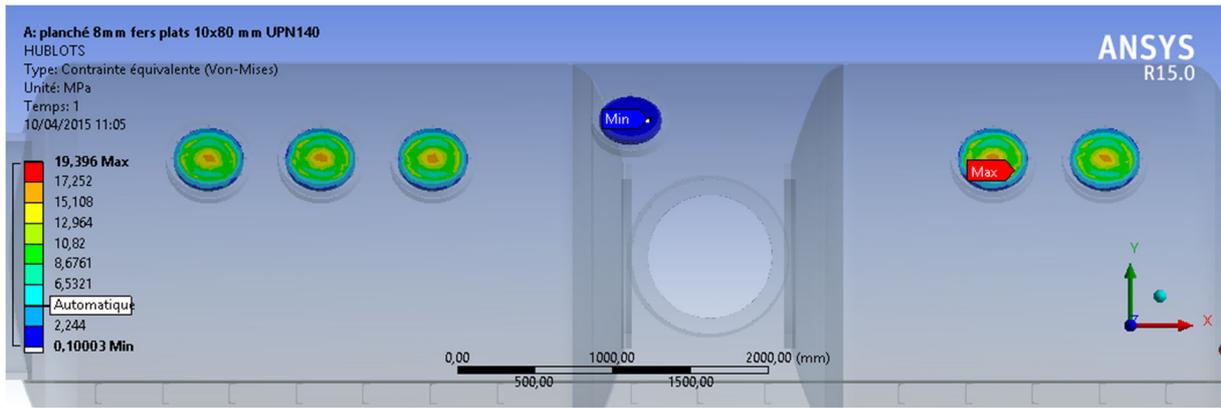


Figure 127: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul III).

III.6.4. Calcul IV :

- La contrainte équivalente maximale sur le caisson est située au niveau du fond bombé avec une valeur égale à : 476,26MPa.

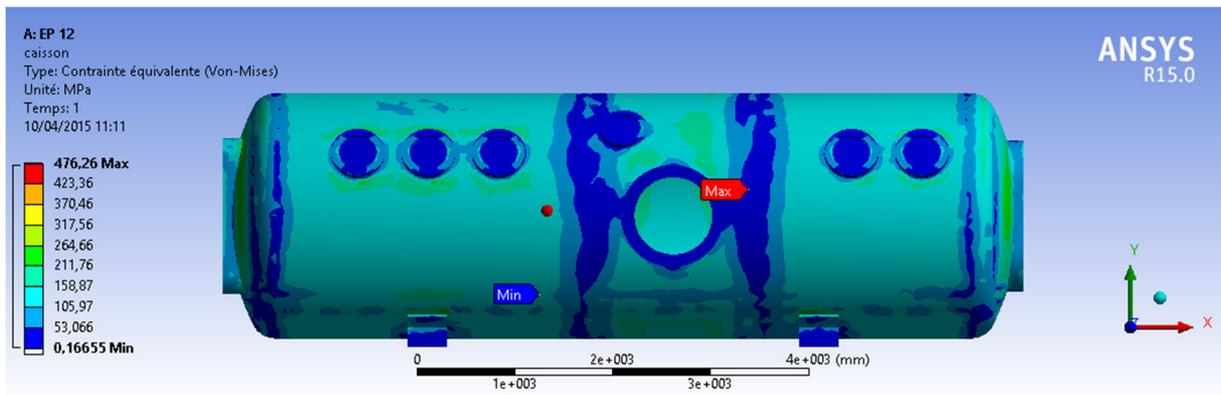


Figure 128: Contraintes équivalentes dans le caisson (Calcul IV).

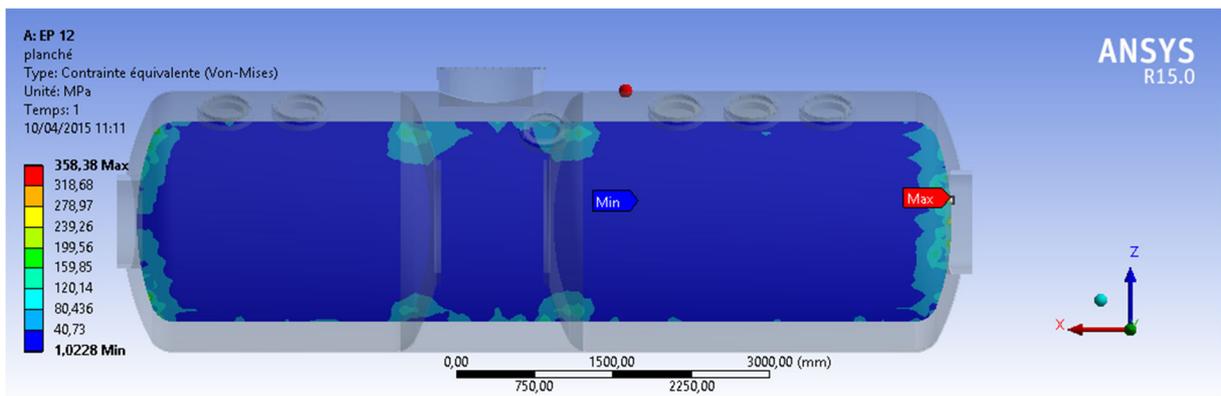


Figure 129: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul IV).

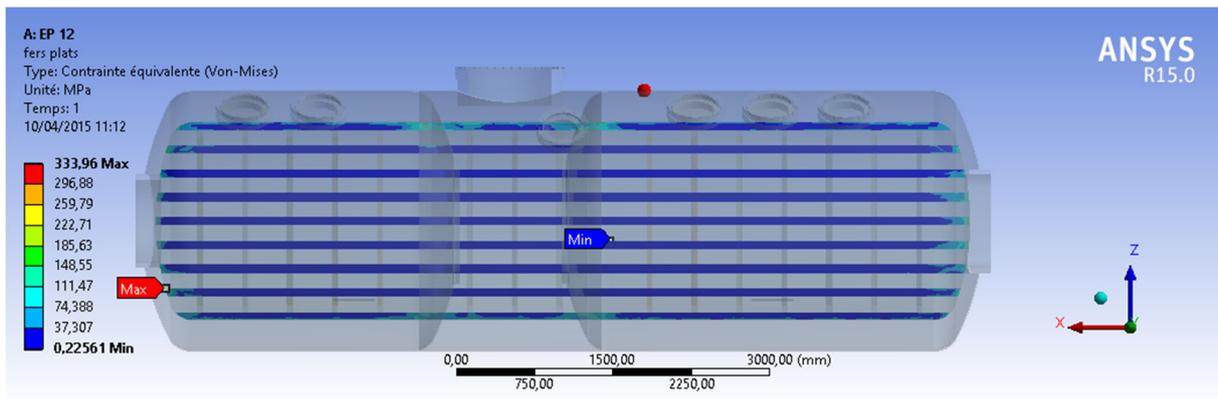


Figure 130: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul IV).

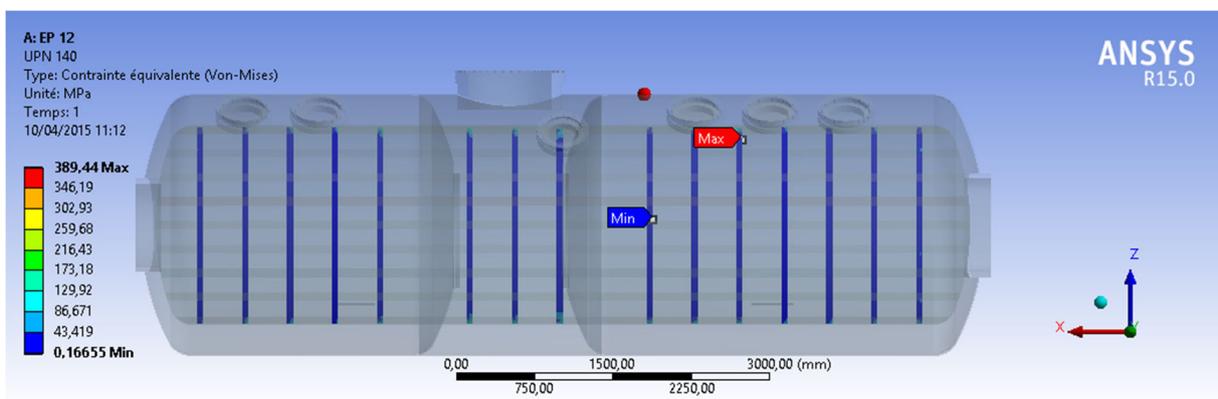


Figure 131: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul IV).

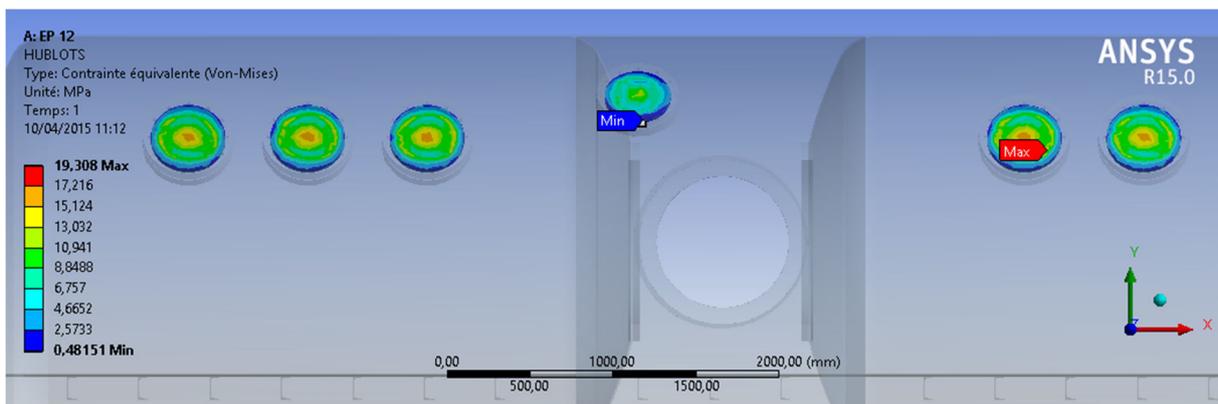


Figure 132: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul IV).

- Nous récapitulerons dans le Tableau (9) les contraintes équivalentes maximales dans les différentes parties de la structure pour les quatre calculs.

	UPN 140	Fers plats	plancher	hublots	Caisson
Calcul I (MPa)	277,94	339,31	255,69	19,428	492,1
Calcul II (MPa)	305,4	268,61	326,71	17,295	458,33
Calcul III (MPa)	376,55	340,08	363,71	19,396	489,28
Calcul IV (MPa)	389,44	333,96	358,38	19,308	476,26

Tableau 9: Les résultats obtenus pour la première modélisation.

Afin de mettre en évidence les zones dangereuses de la structure, nous présentons sur la Figure 133 un zoom sur les parties les plus sollicitées dans le cas du calcul I

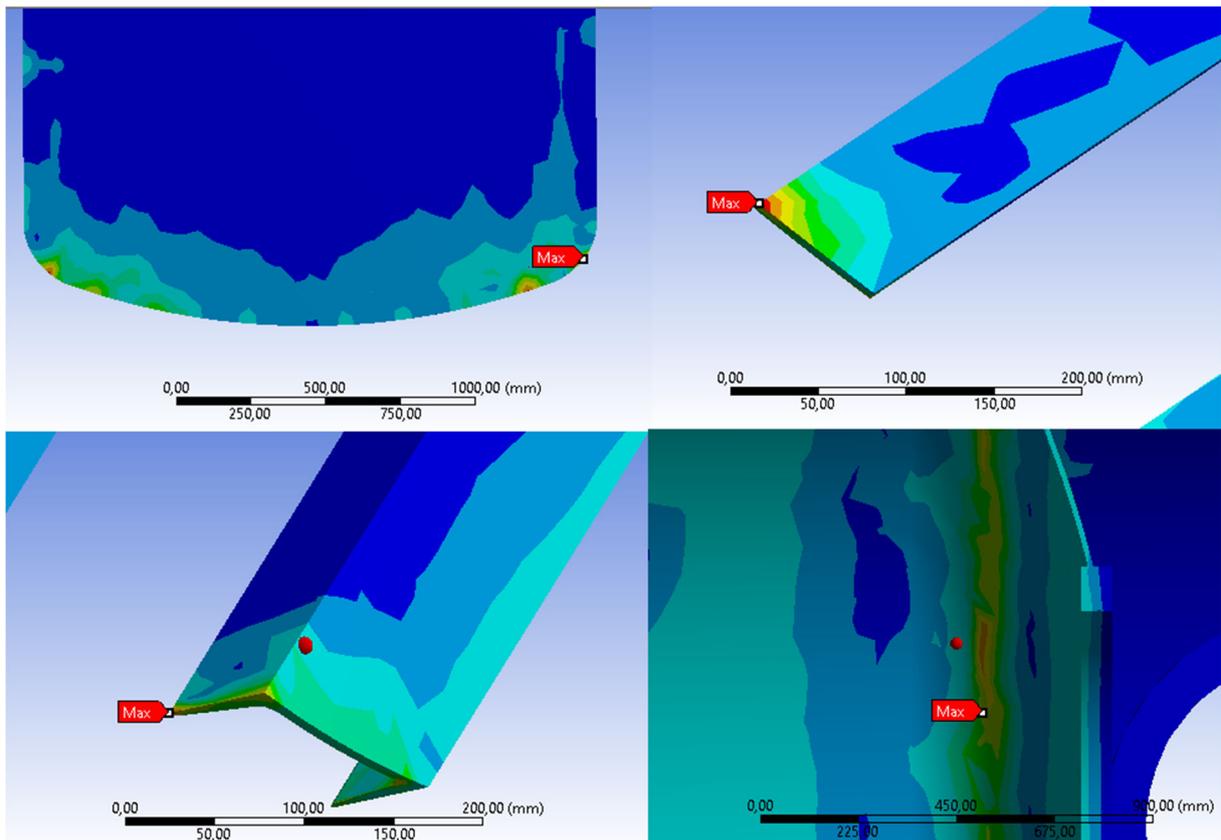


Figure 133: Zoom sur les zones dangereuses (Calcul I).

III.7.Conclusion :

- Nous observons que la contrainte équivalente maximale dans le caisson, pour les quatre calculs, dépasse la limite d'élasticité de l'acier (360 MPa). Nous remarquons également sur la Figures ci-dessus, que les zones dangereuses de la structure sont : dans les UPN, dans les fers plats, et l'extrémité du fond bombé.
- Les quatre calculs de la contrainte équivalente maximale au niveau du verre acrylique sont inférieurs à la contrainte maximale autorisée pour ce type de verre qui est de **70 MPa**.

En conclusion, nous devons améliorer la conception.

CHAPITRE IV
CALCULS POUR DÉTERMINER LA CONCEPTION
FINALE

IV. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les améliorations apportées à la conception précédente. Nous effectuerons plusieurs sur cette nouvelle conception, afin de tester sa validité. Nous rappelons que le caisson est soumis à une pression maximale de **7 bars** (Chapitre II), les calculs seront effectués avec une pression égale à **14 bars**. Ce qui correspond à un coefficient de sécurité égal à 2.

Les calculs du chapitre précédent ont été effectués avec les caractéristiques suivantes de la structure :

- Profilé **UPN 140**, et des fers plats de section rectangulaire **10×80 mm**
 - Plancher de **8 mm** d'épaisseur
 - Epaisseur de tôle de **12 mm (pour toute la géométrie)** et de **40mm** pour l'acrylique.
- Les résultats obtenus ont montré que la contrainte équivalente maximale dépasse la limite d'élasticité de l'acier (**360MPa**). Nous devons donc améliorer la conception du caisson afin que la contrainte équivalente maximale soit inférieure à la limite élastique.

IV.1. Amélioration de la conception :

On augmente l'épaisseur du caisson à 14 mm On utilise toujours le profilé UPN 140 et des fers plats 10×80 et le plancher a 8 mm.

IV.1.1. Calcul I :

Nous représenterons sur les Figures 126 à 130 les iso-valeurs des contraintes équivalentes pour toutes les composantes du caisson.

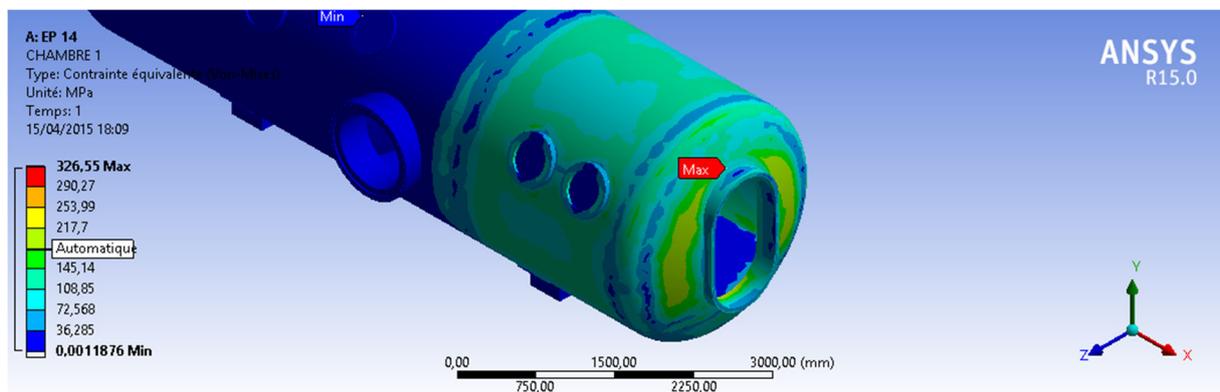


Figure 134: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul I conception améliorée).

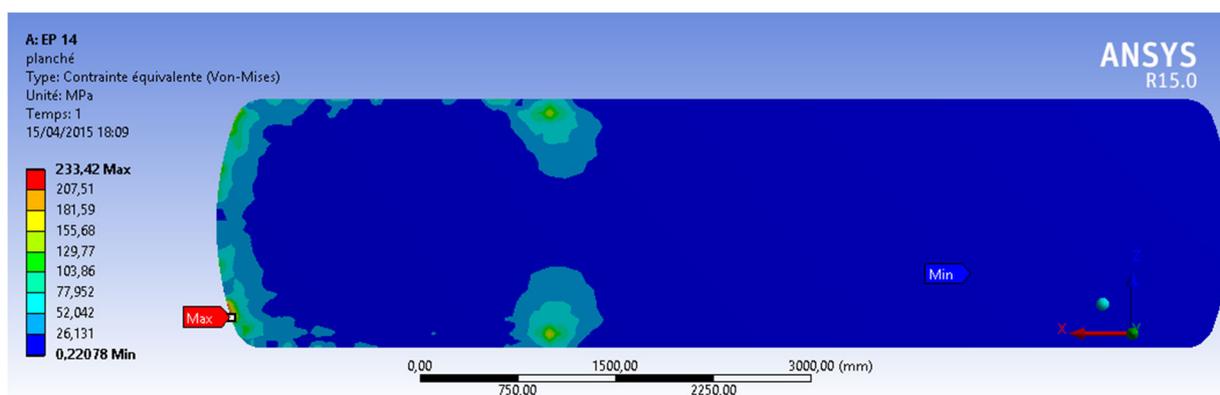


Figure 135: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul I conception améliorée).

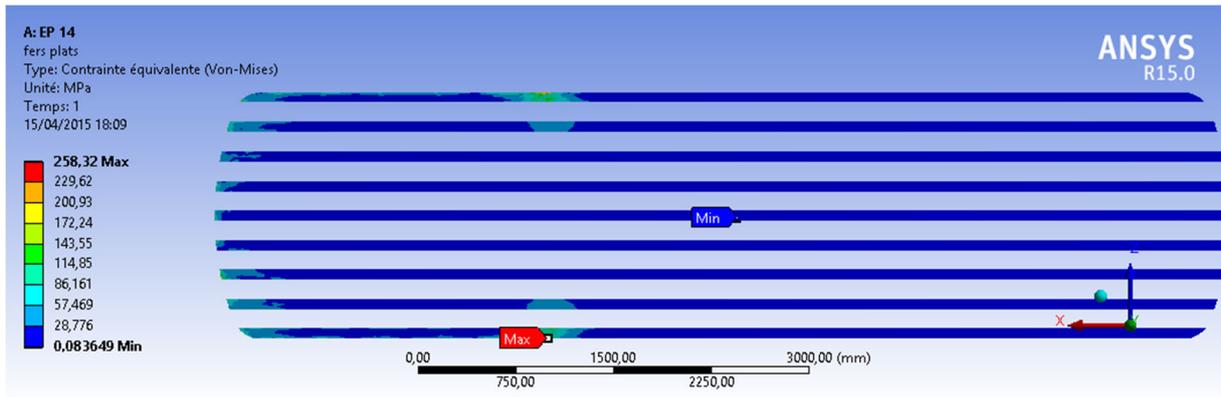


Figure 136: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul I conception améliorée).

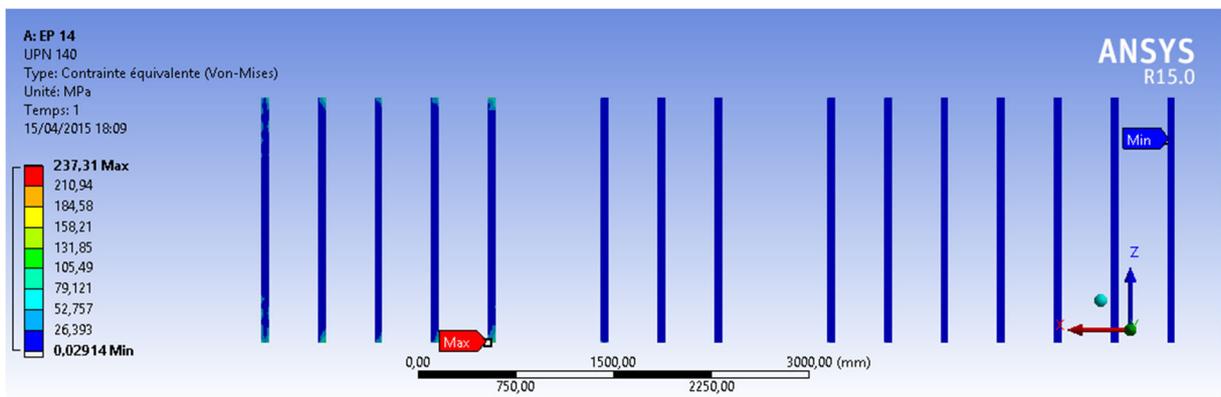


Figure 137: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul I conception améliorée).

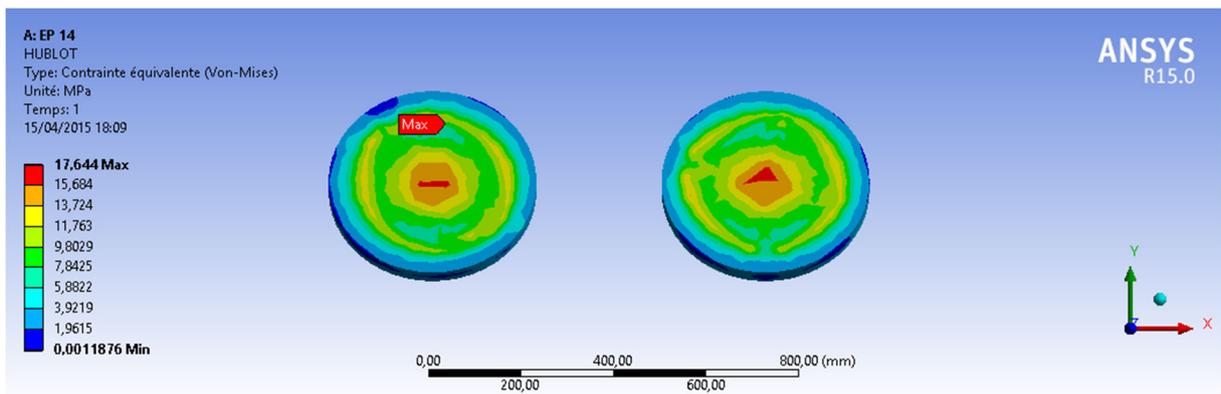


Figure 138: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul I conception améliorée).

IV.1.2. Calcul II :

Nous représenterons sur les Figures 139 à 143 les iso-valeurs des contraintes équivalentes pour toutes les composantes du caisson.

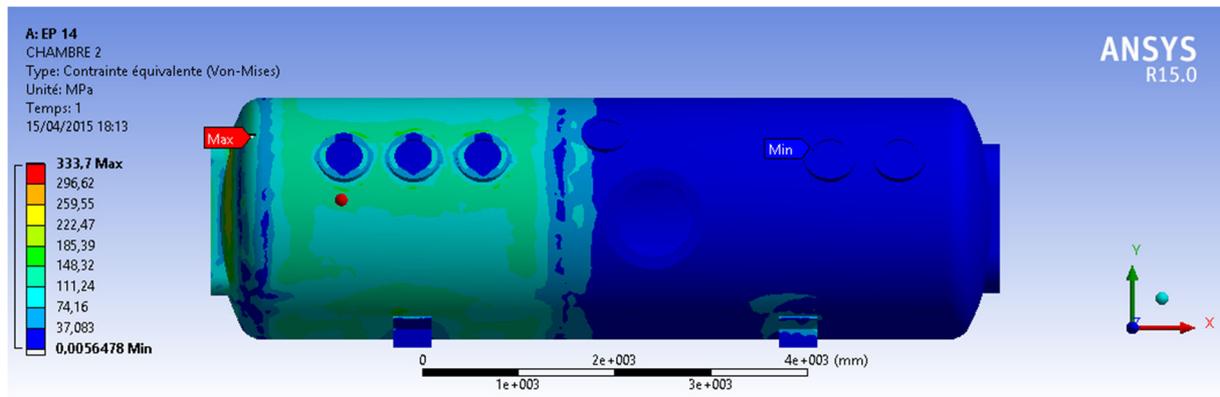


Figure 139: Contraintes équivalentes dans la chambre (Calcul II conception améliorée).

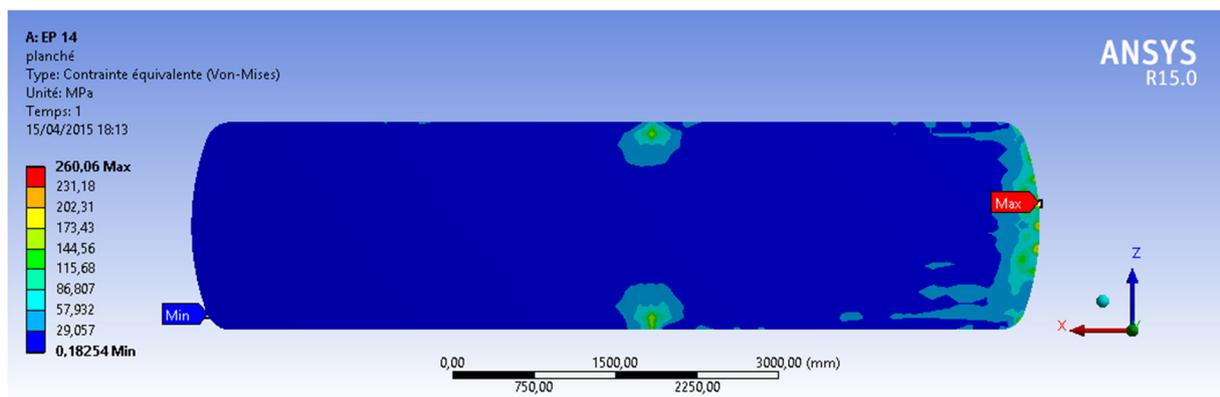


Figure 140: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul II conception améliorée).

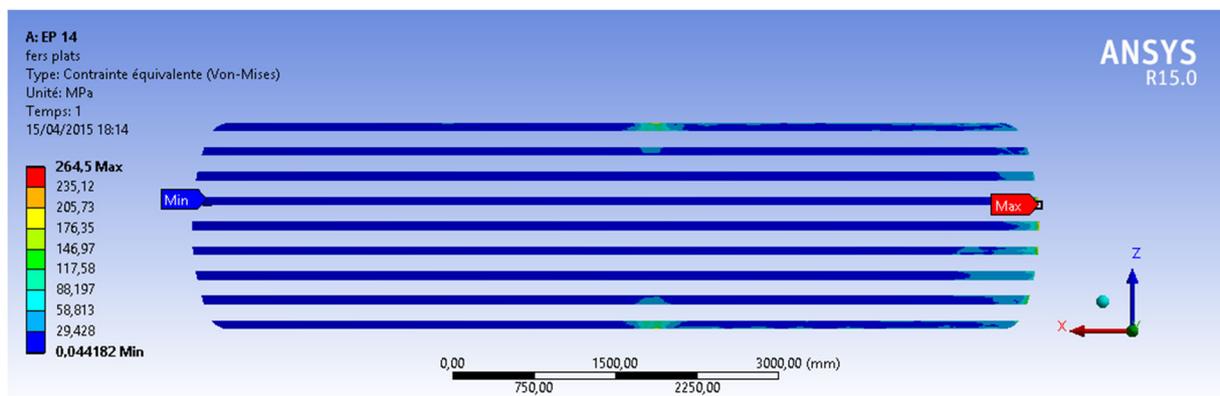


Figure 141: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul II conception améliorée).

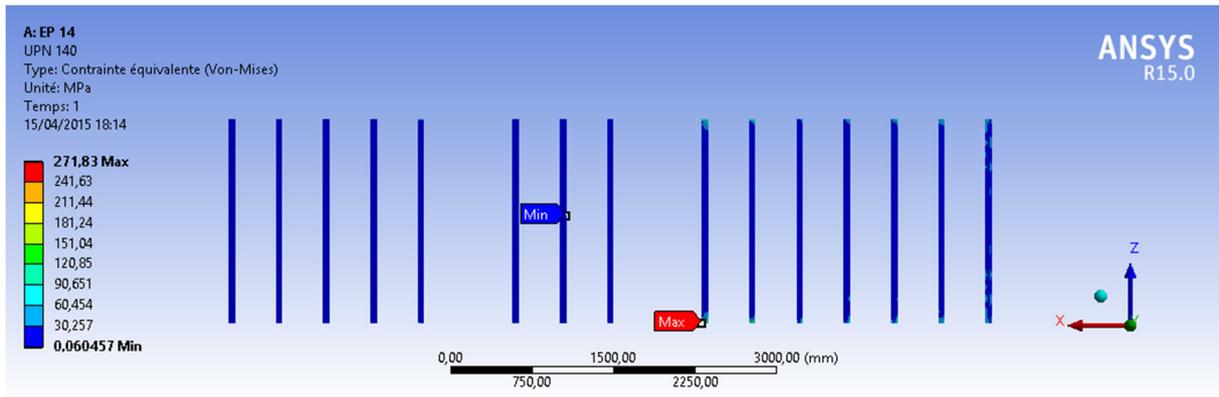


Figure 142: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul II conception améliorée).

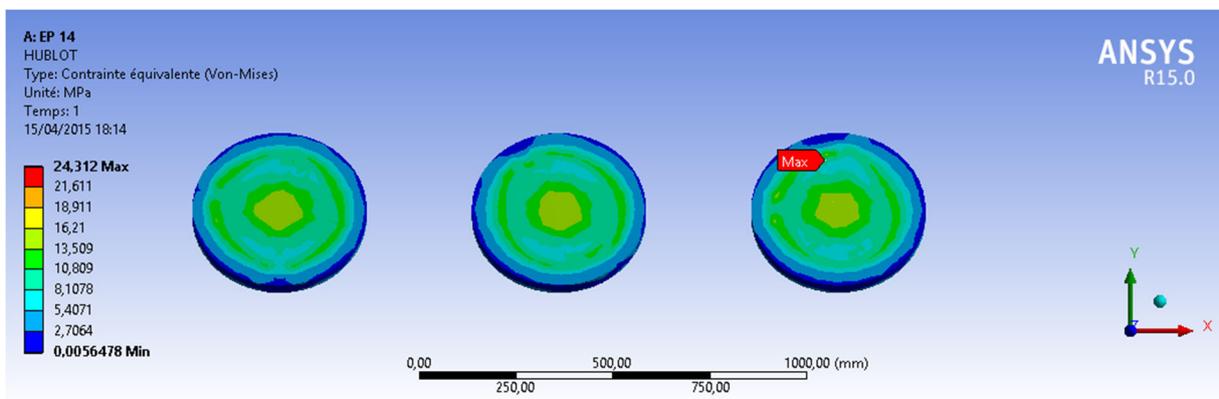


Figure 143: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul II conception améliorée).

IV.1.3. Calcul III :

Nous représenterons sur les Figures 144 à 148 les iso-valeurs des contraintes équivalentes pour toutes les composantes du caisson.

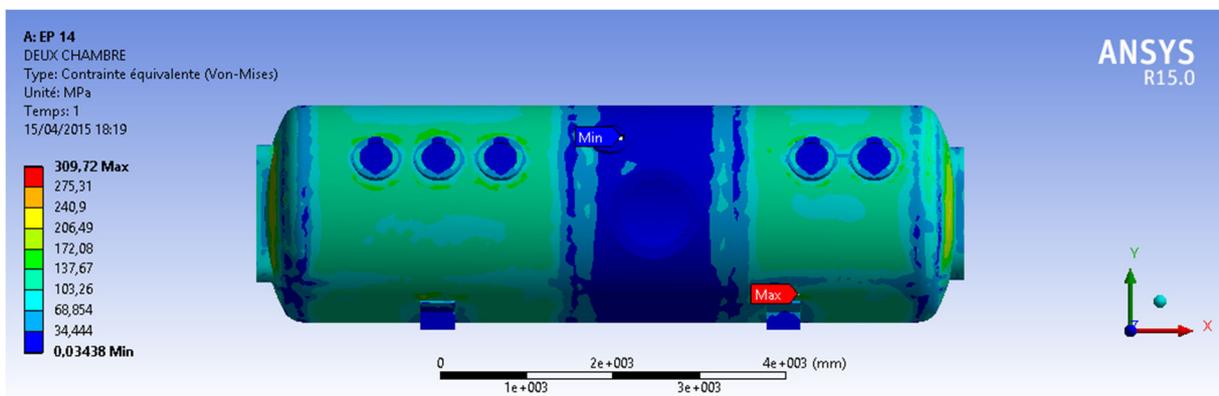


Figure 144: Contraintes équivalentes dans les deux chambres (Calcul III conception améliorée).

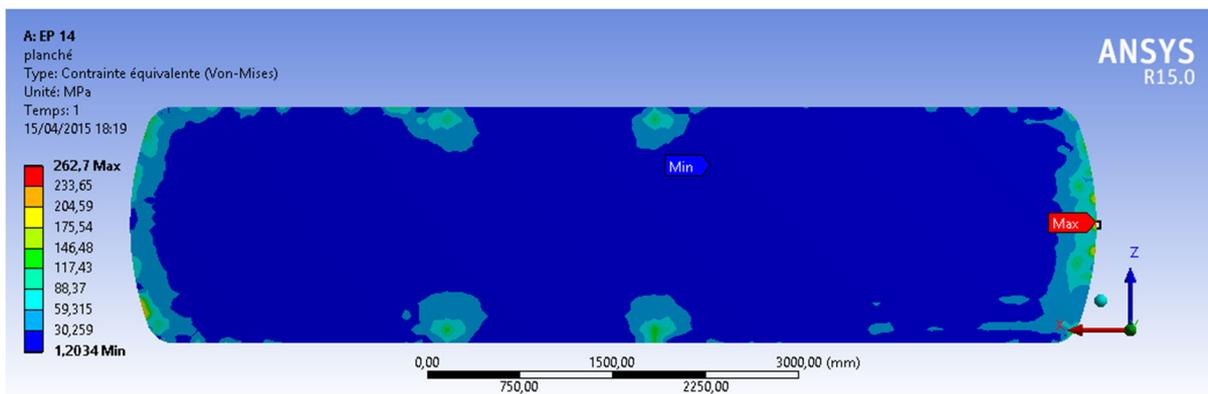


Figure 145: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul III conception améliorée).

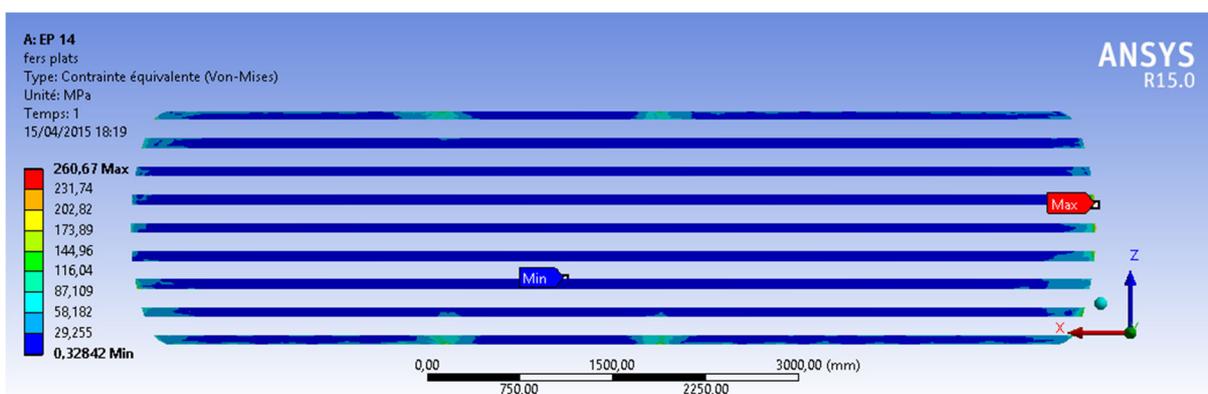


Figure 146: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul III conception améliorée).

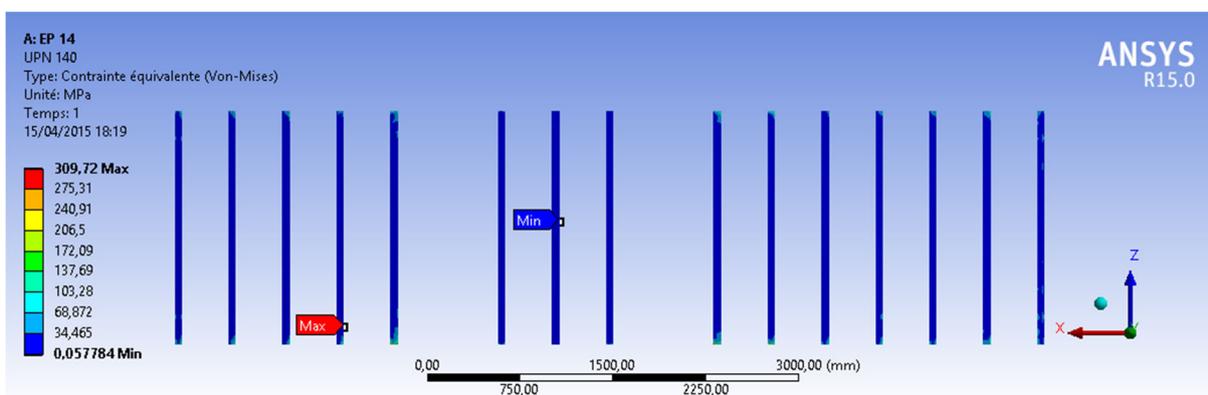


Figure 147: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul III conception améliorée).

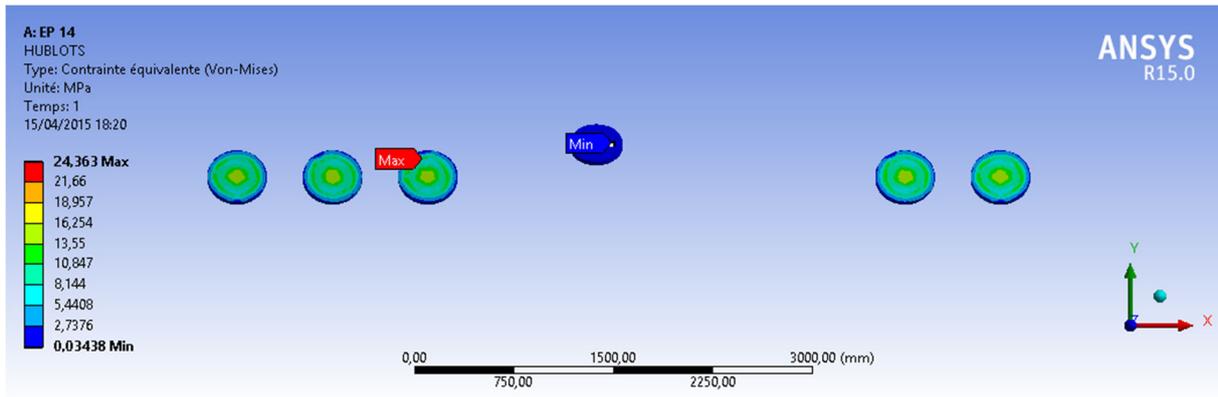


Figure 148: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul III conception améliorée).

IV.1.4. Calcul IV :

Nous représenterons sur les Figures 149 à 153 les iso-valeurs des contraintes équivalentes pour toutes les composantes du caisson.

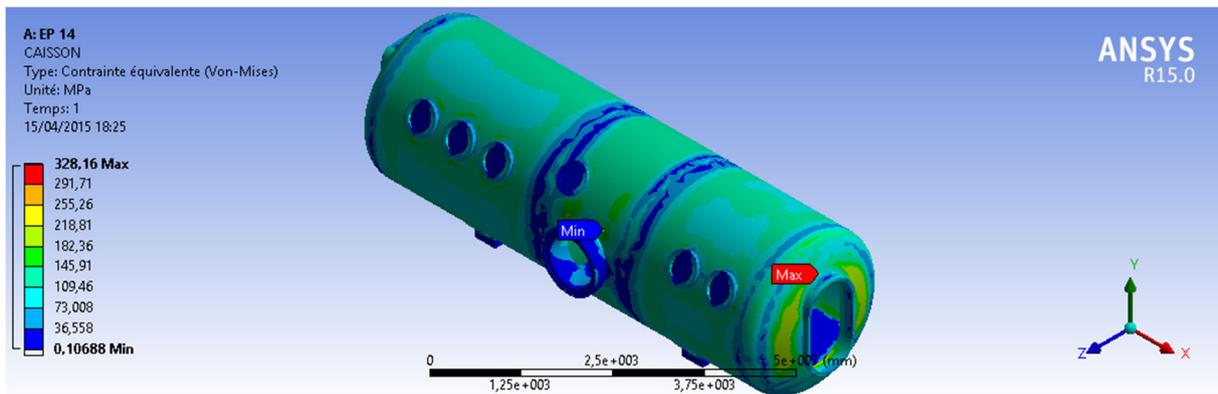


Figure 149: Contraintes équivalentes dans le caisson (Calcul IV conception améliorée).

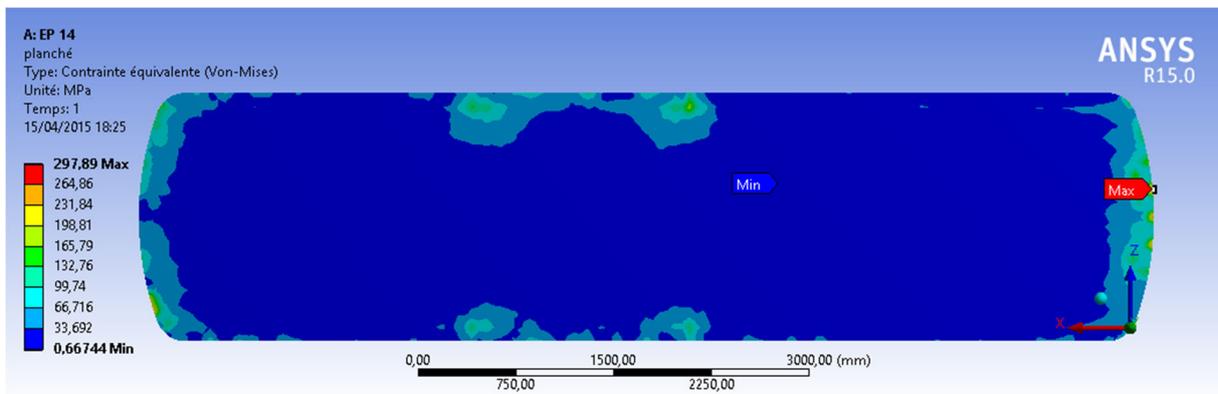


Figure 150: Contraintes équivalentes dans le plancher (Calcul IV conception améliorée).

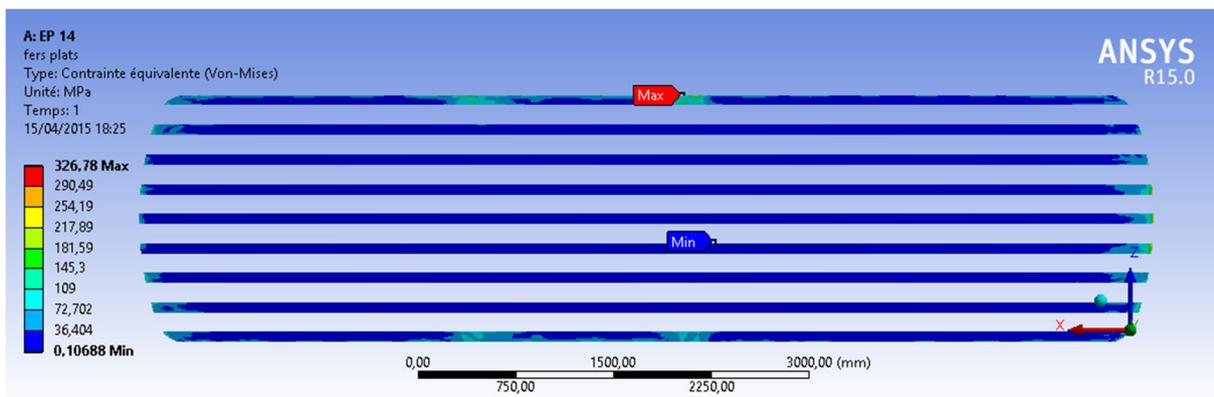


Figure 151: Contraintes équivalentes dans le fer plat (Calcul IV conception améliorée).

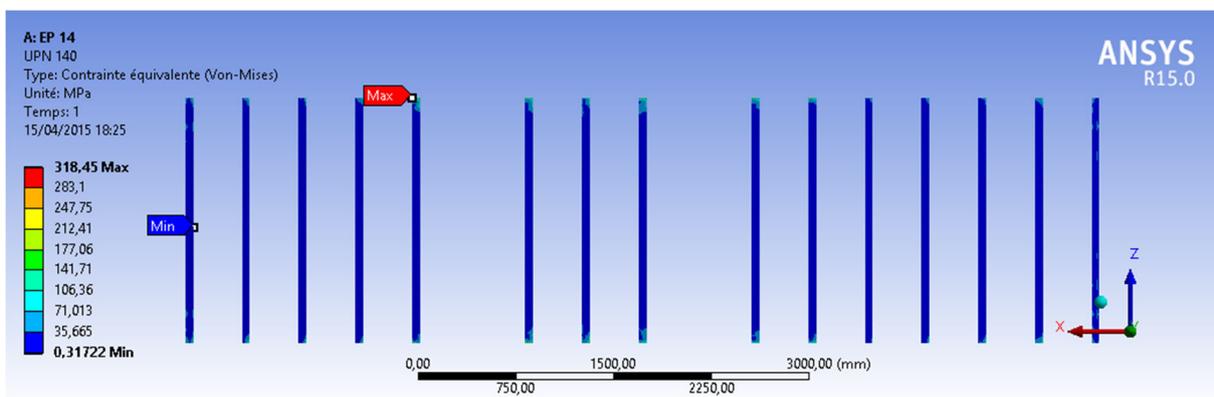


Figure 152: Contraintes équivalentes dans l'UPN 140 (Calcul IV conception améliorée).

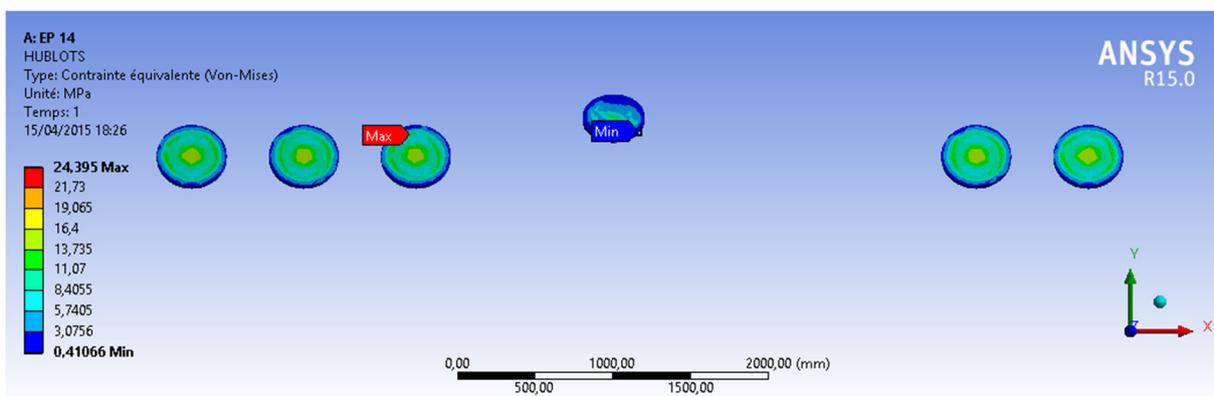


Figure 153: Contraintes équivalentes dans les hublots (Calcul IV conception améliorée).

- Nous récapitulons dans le Tableau (10) les contraintes équivalentes maximales dans les différentes parties de la structure pour les quatre calculs.

	Caisson	plancher	Fers plats	UPN 140	Hublots
Calcul I (MPa)	326,55	233,42	258,32	237,31	17,644
Calcul II (MPa)	333,7	260,06	264,5	271,83	24,312
Calcul III (MPa)	309,72	262,7	260,67	309,72	24,363
Calcul IV (MPa)	328,16	297,89	326,78	318,45	24,395

Tableau 10: Les résultats obtenus pour la conception améliorée.

IV.2. Conclusion :

Nous observons sur le Tableau (10) que les contraintes équivalentes maximales pour l'acier et le verre sont inférieures aux contraintes admissibles respectives. Nous en concluons que cette amélioration de conception est la bonne, et sera appelée « conception finale ».

IV.3. Remarque importante :

Les calculs ont été effectués sur la conception simplifiée. Les résultats obtenus ne correspondent donc pas exactement aux contraintes existant dans la structure réelle. Nous pouvons quand même appliquer ces conclusions à la structure réelle, car nous avons pris un coefficient de sécurité égal à 2. Ce qui nous laisse une marge d'erreur assez importante.

IV.4. Déplacement dans la structure :

Nous rappelons que tous les calculs effectués l'ont été dans l'hypothèse de la linéarité du problème élastique. Cette hypothèse stipule que les déplacements de la structure doivent être petits par rapport à ses dimensions.

Afin de vérifier que nos calculs vérifient bien cette hypothèse, nous présentons les iso-valeurs du déplacement total ainsi que les déplacements de la structure dans les directions X et Y et Z (Figures 154 à 157 respectivement) dans le cas du Calcul I où les valeurs sont les plus importantes.

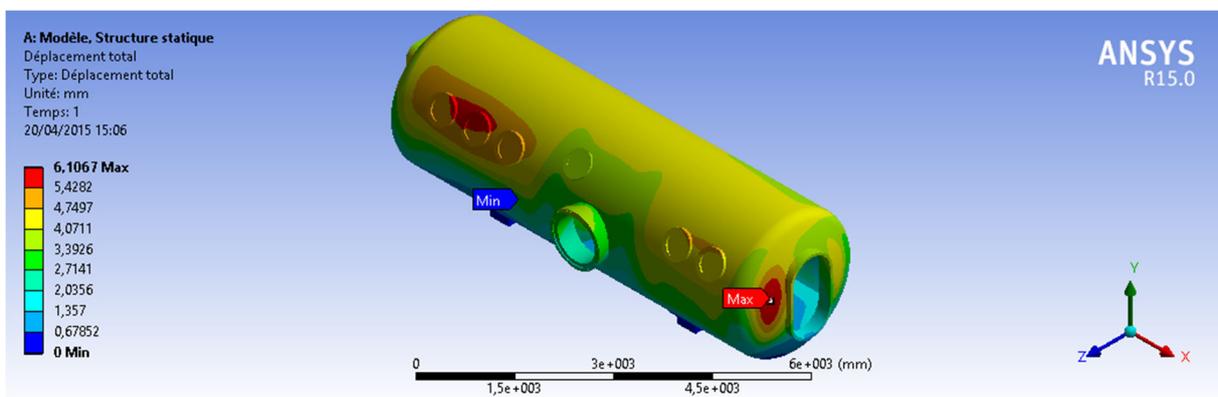


Figure 154: Déplacements totaux.

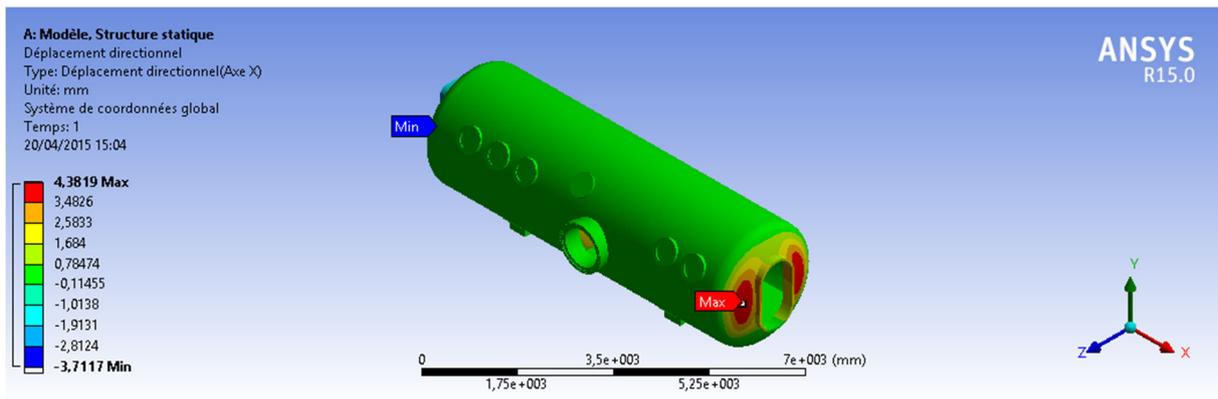


Figure 155: Déplacements de la structure dans les directions X.

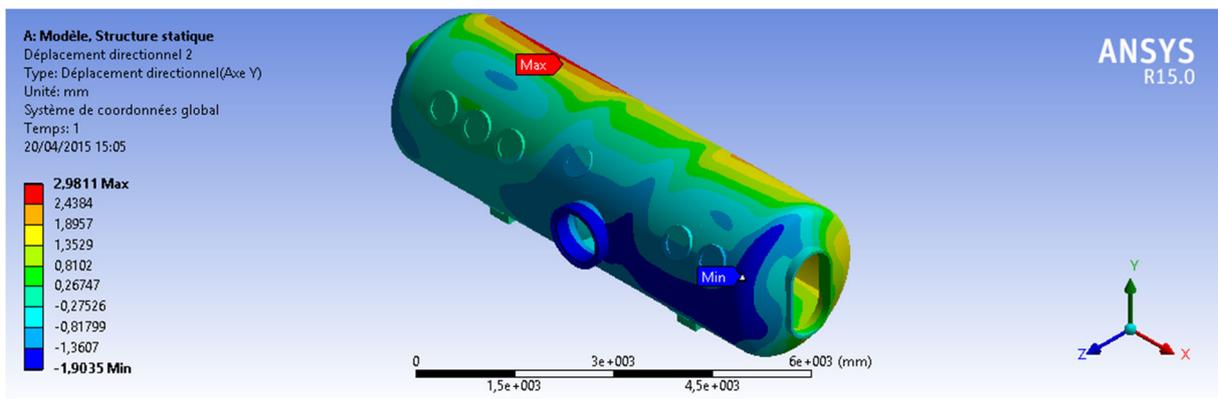


Figure 156: Déplacements de la structure dans les directions Y.

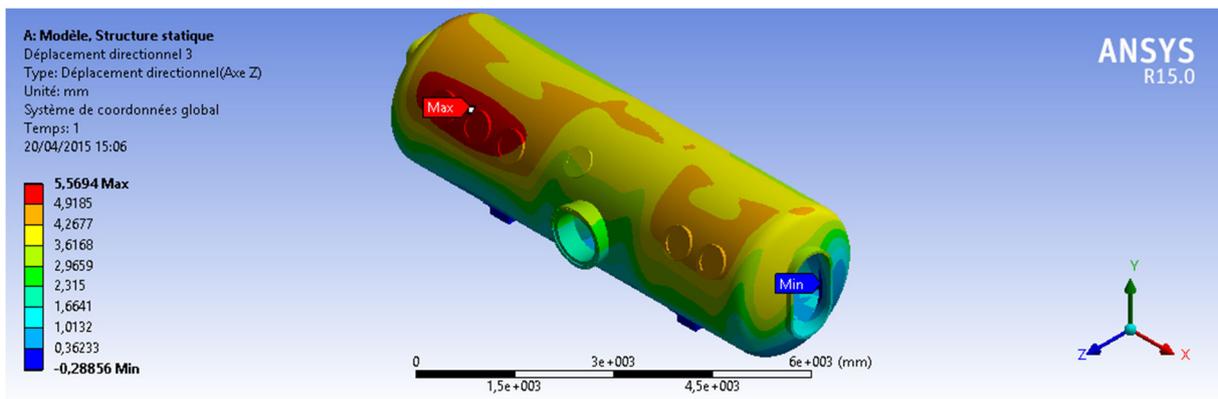


Figure 157: Déplacements de la structure dans les directions Z.

Nous observons sur la Figure (154) que le déplacement maximal est d'environ 6 mm, ce qui, rapporté à la dimension maximale de la structure d'environ 8 m, montre que l'hypothèse des petits déplacements est largement vérifiée.

IV.5. Récapitulation des caractéristiques de la « conception finale

» :

Nous récapitulons ci-dessous certaines dimensions:

- ❖ L'épaisseur du caisson hyperbare est de 14 mm.
- ❖ L'épaisseur du plancher est de 8 mm.
- ❖ Les fers plats sont de 10×80 mm.
- ❖ Le profilé UPN 140.
- ❖ L'épaisseur du verre acrylique est de 40 mm.

Les différents dessins de définition de la « conception finale » sont donnés en Annexe. La masse totale du caisson calculée par ANSYS est de **13997 kg**.

**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

Conclusion générale

Ce mémoire a été consacré à la conception d'un caisson hyperbare multiplace. La conception est basée sur l'ancienne conception de BENZIANE Yassine [6]. Nous avons apporté des modifications inspirées de documents décrivant la chambre hyperbare de l'Hôpital général de Vancouver [7]. Les principaux apports de notre travail sont les suivants :

- Nous avons corrigé les insuffisances constatées dans le travail de BENZIANE Yassine, à savoir : l'absence d'une chambre, l'absence des trous de tuyauteries, l'insuffisance du nombre d'hublots, l'insuffisance des portes, la longueur insuffisante (5,4 m) pour l'ajout d'une chambre.
- Afin que notre mémoire puisse servir de base à une autre conception similaire, nous avons détaillé la procédure de modélisation géométrique à l'aide du logiciel SolidWorks. Nous avons procédé de même, et dans le même but, avec la procédure de modélisation par la méthode des éléments finis à l'aide du logiciel ANSYS.
- A cause de nos moyens de calcul limites, nous avons été obligés d'utiliser une conception simplifiée pour les calculs. Les résultats obtenus peuvent être généralisés à la structure réelle, à cause du coefficient de sécurité égal à 2, utilisé dans les calculs.

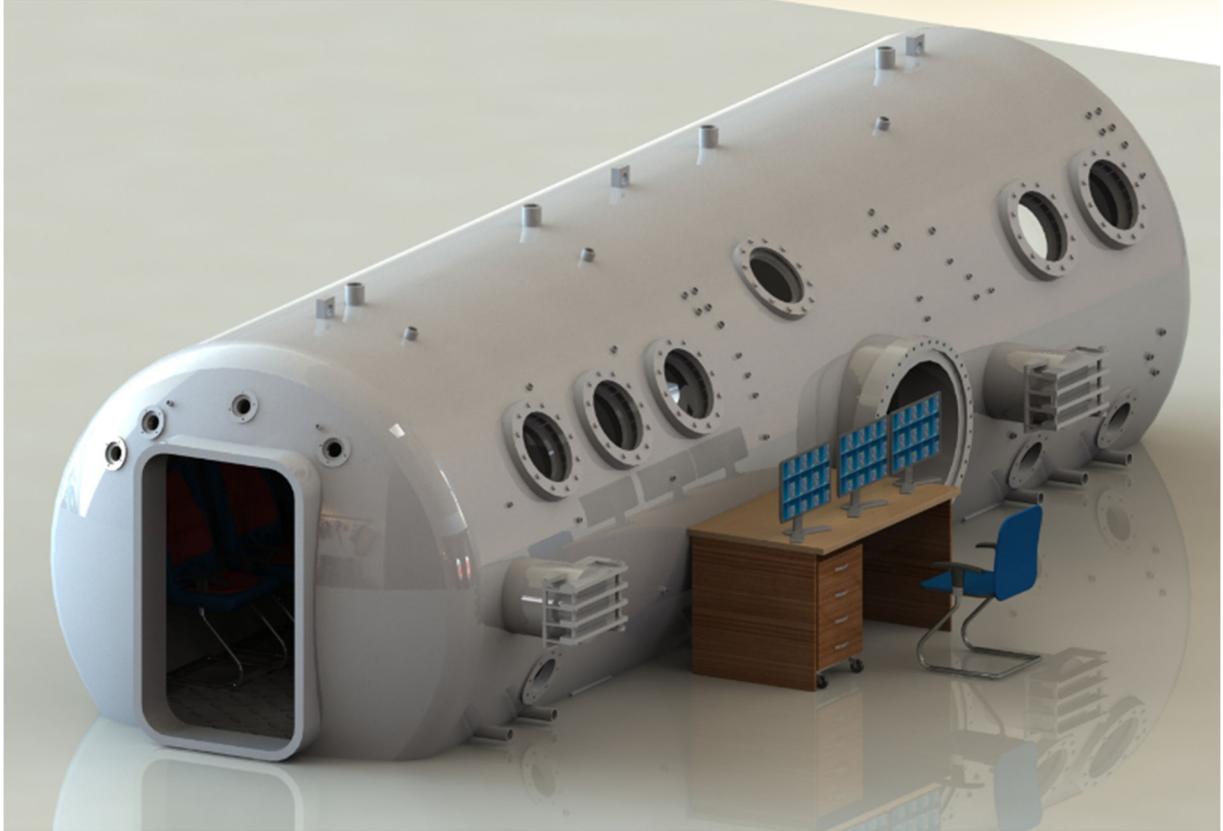
Cette étude nous a permis de dégager quelques perspectives :

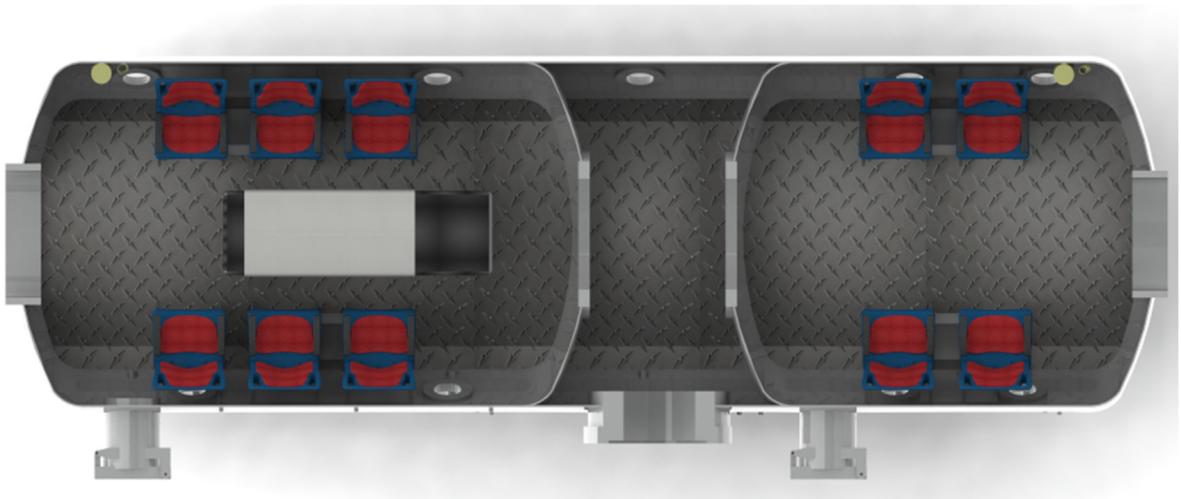
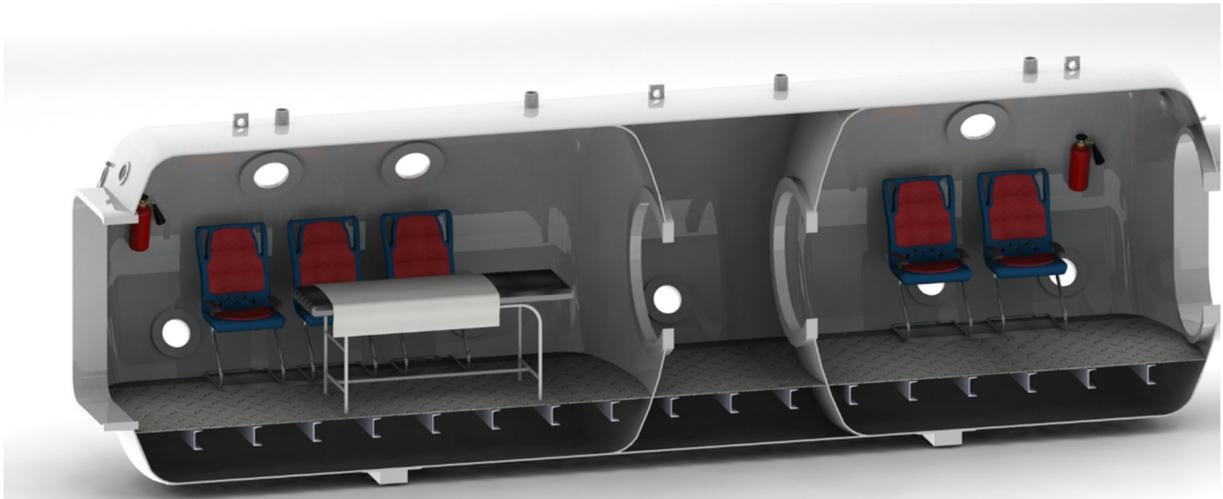
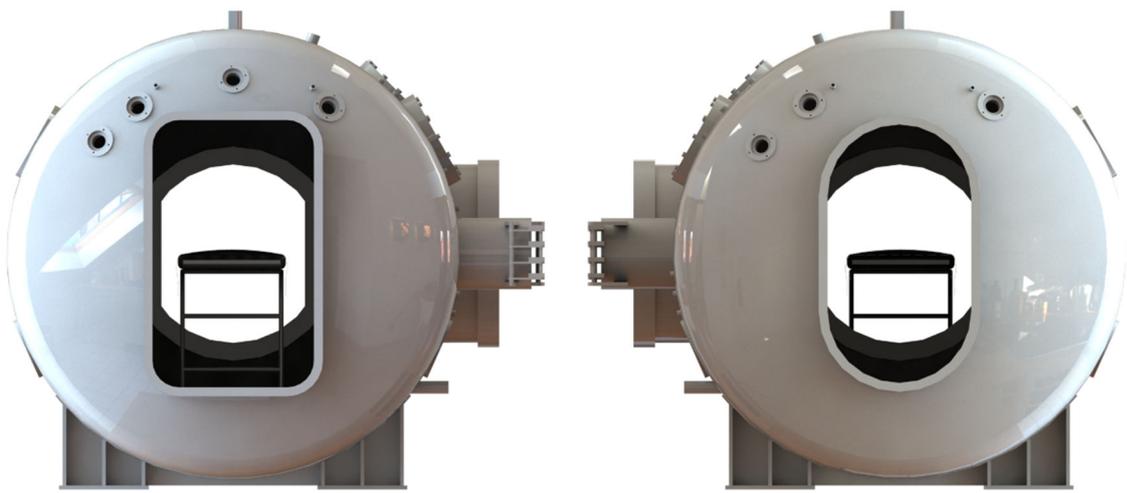
- Effectuer une conception en utilisant à la place de l'acier un matériau composite, et comparer les propriétés des deux structures en acier et en composite.
- Tenir compte des cordons de soudure dans les calculs. En effet, dans ce travail, la soudure a été complètement ignorée.

Sur un plan personnel, ce travail nous a permis de compléter notre formation, en améliorant nos compétences dans les domaines suivants:

- ✓ CAO DAO (Solidworks).
- ✓ Calcul des structures et Méthode des éléments finis (ANSYS).

ANNEXE





Listes des références

1. http://fr.wikipedia.org/wiki/Caisson_hyperbare
2. <http://www.infirmiers.com/etudiants-en-ifsu/cours/cours-hyperbarie-medicale.html>
3. http://www.divazur.com/technique-plongee/incidence-des-variations-de-pression/product_info.php/cPath/300/products_id/1130?osCsid=3evkorlc1nk0ffsd0r801gc4f0
4. http://www.obs-vlfr.fr/StageCPS2008/cours/Caisson_Arvieux.pdf
5. BENZIANE Yassine PROJET DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER (2013-2014)
6. <http://www.cc-uhms.ca/wp/wp-content/uploads/2011/10/Presentations/Final%20The%20Hyperbaric%20Chamber%20OCCUHMS%202011.pdf>
7. <http://www.plexiglas.com/export/sites/plexiglas/.content/medias/downloads/resins-docs/plexiglas-v052.pdf>
8. <ftp://law.resource.org/pub/us/code/ibr/asme.pvho-1.2007.pdf>
9. http://www.constructalia.com/repository/Products/BeamsSections/SectionRangeFR_EN_DE/UPN.pdf
10. http://www.constructalia.com/repository/Products/BeamsSections/SectionRangeFR_EN_DE/FL.pdf
11. <http://www.bonitempo.fr/fr/pdf/GRC-norme-complete.pdf>
12. www.ssab.com/Global/SSAB/SSAB_Americas/A516%20Normalized%20Brochure%2007-10-08.pdf
13. http://www.ijera.com/special_issue/VNCET_Mar_2012/24.pdf
14. https://www.uhms.org/images/Equipment-Articles/pvho-2-2012_viewport_inspect.pdf
15. http://www.macsteel.co.za/files/macsteel_vrn_-_pressure_vessel_steels_-_astm_a516.pdf
16. http://www.seridium.com/downloads/ASTM_Materials.pdf
17. <http://www.technicaljournalonline.com/ijaers/VOL%20I/IJAERS%20VOL%20I%20ISSUE%20II%20JANUARY%20MARCH%202012/IJAERS%2096.pdf>