

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEURETDE LARECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

**Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en
Construction Mécanique**

ÉTUDE ET CONCEPTION D'UNE CITERNE SUR CAMION DE TRANSPORT DE GPL

**Présenté par:
BENACHOUR ABDERRAHMANE
AID MOHAMED**

**Promoteur: Dr. FERDJANI HICHEM
Co-promoteur : Mr. ZEKRAOUI ISLAM**

Session : Juillet 2023

REMERCIEMENTS

Le grand remerciement à notre dieu créateur qui nous a aidés en nous donnant la force et le courage durant ce travail.

Je tiens à exprimer mon respect aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail

Je tiens à remercier notre promoteur, Professeur HICHEM FERDJANI, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance et tout le personnel et enseignant du département de génie mécanique de l'université de Blida,

Nous tenons également à remercier Notre Co-promoteur ISLAM ZEKRAOUI ainsi que tout l'équipe du bureau d'étude de CR-Metal Blida Leurs précieux conseils, leurs suggestions éclairées et leur expertise technique ont grandement enrichi notre travail

DEDICACES

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et dédier ce travail à des personnes qui ont joué un rôle essentiel dans ma vie et qui m'ont soutenu de manière inconditionnelle.

Tout d'abord à mes chers parents qui on me donne de l'énergie, le courage et pousse dans les bonnes conditions pour terminer ce travail, et à tous la famille qui sont proches de moi

à mon binôme Mohamed, avec qui j'ai partagé tous les difficultés de ce travaille.

A tous mes amis qui ont partage cette expérience avec moi Mohamed, Amine, Mounaim, Samir, Midou, Fares, Moh, Loubna, Meriem, et cheezy et nos collegue dans Cr metal Rahma et Iman

*A mon colocataire de la résidence qui m'a accompagnée toute cette année
Tahar Mimoune*

*Mes chers amis de Ouled Yaich, Islam, Yaacob, Stalin, Dope, rami, zaki et billel,
badis*

Mes chers amis de boudouaou Yanis, et Youyou

Et tous ce qui mont supporter moralement de loin Sidahmed Manini, Hichem Benhadja, et Ahmad Ghowas

BENACHOUR Abderrahmane

DEDICACES

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et dédier ce travail à des personnes qui ont joué un rôle essentiel dans ma vie et qui m'ont soutenu de manière inconditionnelle.

Tout d'abord à mes chers parents qui on me donne de l'énergie, le courage et pousse dans les bonnes conditions pour terminer ce travail, et à tous la famille qui sont proches de moi

Deuxièmes, je souhaite dédier ce travail à mon binôme Abderrahmane, avec qui j'ai partagé tous les difficultés de ce travaille.

A tout mes amis Mohamed rouji, Aissa, Moumen, Ayoub, Djebli, Midou, Fares, Samir, Mohamed, Mounaim et Loubna, et bien sure mes collègues dans Cr Metal Rahma et Imane.

AID Mohamed

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1.1 :	Appareil sous pression verticale	5
Figure 1.2 :	Appareil sous pression cylindrique horizontale	6
Figure 1.3 :	Tête hémisphérique	7
Figure 1.4 :	Tête torisphérique	7
Figure 1.5 :	Tête ellipsoïdale	7
Figure 1.6 :	Cuve sous pression sphérique	7
Figure 1.7 :	Récepteur rectangulaire	8
Figure 1.8 :	Composants principaux d'un appareil sous pression	8
Figure 1.9 :	Camion-citerne	13
Figure 1.10 :	Les plus communs codes de fabrication des cuves	14
Figure 1.11 :	Les sections de l'ASME	15
Figure 2.1:	Divers constituants de la citerne.	18
Figure 2.2 :	Dimensions de la cuve	23
Figure 2.3 :	Fond elliptique (type F)	25
Figure 2.4 :	Pression hydrostatique	28
Figure 3.1 :	La virole	33
Figure 3.2 :	Le fond elliptique 1	33
Figure 3.3 :	Fond du trou d'homme	34
Figure 3.4 :	Trou d'homme	34
Figure 3.5 :	Les berceaux de la partie 1	35
Figure 3.6 :	Les berceaux de la partie 2	36
Figure 3.7 :	Vu de coupe des berceaux de la partie 2	36
Figure 3.8 :	Brise lames	37
Figure 3.9 :	Emplacement des brises lames dans la citerne	37
Figure 3.10 :	Vus isométrique de l'assemblage	38
Figure 3.11 :	Vus de coupe de l'assemblage	38

Figure 3.12 :	Déplacement imposé	39
Figure 3.13 :	Définir la direction de la gravité	39
Figure 3.14 :	Application de la pression interne	40
Figure 3.15 :	Tracé de la qualité du Maillage	40
Figure 3.16 :	Déplacements résultants dans toute la structure.	42
Figure 3.17 :	Contraintes équivalentes de Von-Mises dans la virole et les fonds	42
Figure 3.18 :	Distribution de la Contrainte équivalentes de Von Mises dans la bride et trou d'homme	43
Figure 3.19 :	Contraintes de Von-Mises dans les berceaux	44
Figure 3.20 :	Contraintes de Von-Mises dans les berceaux de la partie 1	44
Figure 3.21 :	Aperçu zoomé de la contrainte de Von-Mises maximale dans les berceaux de la partie1.	45
Figure 3.22 :	Contraintes de Von-Mises dans les berceaux de la partie2.	45

Liste des tableaux

Figure	Titre	Page
Tableau 2.1	Tableau de données de base	19
Tableau 2.2	Tableau des matériaux utilisés	19
Tableau 2.3	Les propriétés d'ACIER P440 NJ4	20
Tableau 2.4	Tableau de propriétés de S355 JR2	21
Tableau 2.5	Propriété mécanique de ASTM A350 LF2	21
Tableau 2.6	Propriété mécanique du S235JR	22
Tableau 2.7	Valeurs fournies par le CR Metal	23
Tableau 2.8	Les dimensions des fonds elliptiques de rayon 2200 mm	25
Tableau 2.9	Charge de rupture et coefficient de sécurité de SA 516 Gr 70.	29
Tableau 3.1	Unités utilisées dans la simulation	32
Tableau 3.2	Détails du maillage	41

Liste des abréviations

GPL : gaz de pétrole liquéfié

ASME: American Society of Mechanical Engineers

CND : contrôle non destructif

GNC : gaz naturel comprimé

GNL : gaz naturel liquéfié

MEF : Méthode des éléments finis

Liste des symboles

Symboles	Définition
Re	Limite élastique
Rm	Charge de rupture
P	Pression
E	Coefficient du joint
s	Coefficient de sécurité
V _T	Volume totale
ρ	Masse volumique
De	Diamètre extérieur
r _e	Rayon extérieur
S	Contrainte admissible
t	Épaisseur
H _t	Hauteur extérieur totale du fond
r	Rayon carre
L _v	Longueur totale de virale
G	La gravité

ملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو دراسة خزان نقل غاز البترول المسال. يتكون الخزان من جزأين: الأول يتكون من القوقعة ورأسين، والثاني من مهد للارتباط بالشاحنة، وفتحة تفتيش. يتم حساب الجزء الأول وفقاً لمعيار ASME. تم حساب الجزء الثاني عن طريق محاكاة العناصر المحدودة، باستخدام برنامج Solidworks. وأظهرت النتائج أنه تم التحقق من قوة الهيكل.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est l'étude d'un réservoir de transport du GPL. Le réservoir est constitué de deux parties : la première est constituée d'une virole, et des deux fonds, la seconde de berceaux pour la fixation sur le camion, ainsi que du trou d'homme. Le calcul de la première partie s'effectue selon la norme ASME. Le calcul de la seconde s'effectue par une simulation par éléments finis, en utilisant le logiciel Solidworks. Les résultats ont montré que la résistance de la structure est vérifiée.

Abstract

The aim of this thesis is to study an LPG transport tank. The tank is made up of two parts: the first consists of a shell and two heads, the second of cradles for attachment to the truck, and a manhole. The first part is calculated in accordance with the ASME standard. The second part was calculated by finite element simulation, using Solidworks software. The results showed that the strength of the structure was verified.

Table des matières

<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	1
------------------------------------	---

CHAPITRE I : Généralités sur les cuves sous pression et les camions citernes

1.1. Généralités sur les cuves sous pression :	4
1.1.1. Historique	4
1.1.2. Applications	4
1.2. Les types et classifications :	5
1.2.1. Épaisseur de la paroi :	5
1.2.2. Température de fonctionnement	5
1.2.3. Pression de travail	5
1.2.4. Mode d'installation	5
1.2.5. Forme géométrique :	6
1.3. Composants d'une cuve sous pression	8
1.4. Choix du matériau	9
1.5. Paramètres de conception :	10
1.6. Défaillances	11
1.7. Inspection des appareils sous-pression :	11
1.7.1. Inspection interne des appareils à pression	11
1.7.2. Inspection externe des appareils à pression	11
1.7.3. Techniques d'inspection	12
1.8. Généralités sur les camions citerne	12
1.8.1. . Chargement et déchargement	13
1.8.2. Considérations relatives au poids	14
1.9. Normes et Codes pour les appareils sous pression :	14

CHAPITRE II :Présentation de la citerne et calculs préliminaires

2.1. Introduction.....	18
2.2. Présentation de la citerne	18
2.2.1. Les exigences réglementaires du matériau.....	20
2.2.2. Accessoires de la citerne :	20
2.3. Détails des calculs de la première partie de la citerne	23
2.3.1. Données des calculs.....	23
2.3.2. Calculs des épaisseurs.....	23

2.3.3.	Géométrie du fond	24
2.3.4.	Calculs des volumes et longueurs	25
2.3.5.	Calcul des masses de la citerne	26
2.3.6.	Pression hydrostatique	27
2.4.	Comparaison entre la conception en ACIER P440 NJ4 et SA516	29
2.4.1.	<i>Contrainte admissible S'</i>	29
2.4.2.	<i>Epaisseur de virole tv'</i>	29
2.4.3.	<i>Epaisseur du fond tf'</i>	29
2.4.4.	<i>Masse Mv' de la virole</i>	29
2.4.5.	<i>Masse Mf' des fonds</i>	30
2.4.6.	<i>Le totale de la virole et les fonds</i>	30
2.4.7.	<i>Comparé à la masse des viroles et fonds en ACIER P440 NJ4</i>	30
<i>CHAPITRE III : Modélisation et simulation</i>		
1.1.	Introduction	32
1.2.	Création de la géométrie :	33
1.2.1.	La virole	33
1.2.2.	Fond elliptique 1	33
1.2.3.	Fond elliptique 2	34
1.2.4.	Le trou d'homme	34
1.2.5.	Les Berceaux	35
1.2.6.	Brise lames	37
1.2.7.	Structure complète	38
1.3.	Calcul par éléments finis	38
1.3.1.	Les Conditions aux limites	38
1.3.3.	Résultats	41
1.4.	Conclusion.....	45
Conclusion générale		46
Références		47
<i>Annexe 1</i>		50
<i>Annexe 2</i>		54

INTRODUCTION GENERALE

Le transport de GPL (gaz de pétrole liquéfié) par camions-citernes est un élément essentiel de la chaîne d'approvisionnement en GPL. Les camions-citernes sont spécialement conçus pour faciliter le transport sûr et efficace de volumes importants de GPL depuis les installations de production, les raffineries ou les dépôts de stockage jusqu'aux centres de distribution aux complexes industriels ou aux utilisateurs finaux, assurant la disponibilité de ce combustible polyvalent dans les secteurs résidentiels, commerciaux et industriels. Ces véhicules spécialisés sont dotés de réservoirs robustes conçus pour résister aux pressions et conditions environnementales exigeantes inhérentes au transport de GPL. Le transport fiable et efficace du GPL par camions-citernes joue un rôle primordial dans la satisfaction des besoins énergétiques de divers secteurs, qu'ils soient résidentiels, commerciaux ou industriels.

Au fil du temps, les réservoirs sous pression ont considérablement évolué grâce aux progrès en matière de matériaux, de conception et de technologie, permettant ainsi de créer des réservoirs de GPL plus sûrs, légers et fiables. L'utilisation de matériaux alternatifs tels que l'acier à haute résistance et les alliages d'aluminium a joué un rôle clé dans l'amélioration de la sécurité et des performances des réservoirs. Ces nouveaux matériaux ont permis le développement de réservoirs plus solides, durables, légers et résistants à la corrosion. Ce qui améliore leur sécurité et leur efficacité d'utilisation.

L'objectif de ce travail est de faire une conception et étude d'une citerne de GPL chargée sur camion. On utilise l'acier P440NJ4 comme substitut à l'acier A516 G70 habituellement utilisé pour les réservoirs sous pression. L'utilisation de cet acier alternatif présente des avantages significatifs tels qu'une résistance accrue aux chocs, une meilleure soudabilité et une durabilité améliorée. En adoptant ce nouveau matériau, notre objectif est de créer un réservoir GPL qui soit à la fois plus léger et plus fiable. Ce projet est réalisé en collaboration avec l'entreprise CR Metal ENCC unité de Blida. Cette entreprise compte parmi les leaders en Algérie dans le domaine de la construction métallique, charpente métallique, chaudronnerie, équipements industriels divers et fonds bombés.

Le réservoir est constitué de deux parties : la première est constituée d'une virole, et des deux fonds, la seconde de berceaux pour la fixation sur le camion, ainsi que du trou d'homme. Le calcul de la première partie s'effectue selon la norme ASME. Le calcul de la seconde

s'effectue par une simulation par éléments finis, en utilisant le logiciel Solidworks. Les autres parties de la structure n'ont pas été pris en compte dans les calculs.

Le mémoire se divise en plusieurs chapitres :

- Le premier chapitre offre une vue d'ensemble des réservoirs sous, de leurs caractéristiques, de leur fonctionnement et de leurs différents types.
- Le deuxième chapitre donne une présentation de la citerne de transport de GPL et des données utilisées, des différentes composantes de cette citerne ainsi que de leurs matériaux.
- Dans le troisième chapitre, nous utiliserons Solidworks pour réaliser la modélisation et la simulation du réservoir, en nous appuyant sur les données et les calculs présentés dans le chapitre précédent. L'objectif principal est de vérifier la résistance du réservoir et particulièrement de la partie 2.

Une conclusion générale sera présentée à la fin du travail.

CHAPITRE I

Généralités sur les cuves sous pression et les camions citernes

1.1. Généralités sur les cuves sous pression :

Une cuve à pression est un conteneur ou un récipient conçu pour contenir des gaz ou des liquides à une pression sensiblement différente de la pression atmosphérique. Ces récipients sont utilisés dans diverses industries telles que les industries chimiques, pétrochimiques, pétrolières et gazières, nucléaires et pharmaceutiques. Ils sont conçus pour résister à une pression élevée et sont généralement fabriqués dans des matériaux très solides et résistants à la corrosion. Ils sont également conçus pour éviter toute fuite ou rupture qui pourrait être dangereuse pour la vie humaine et l'environnement. La pression à l'intérieur de la cuve est maintenue par des pompes ou des compresseurs qui peuvent augmenter la pression jusqu'au niveau requis pour le processus en cours.

Les chaudières, les réservoirs d'air, les échangeurs de chaleur et les réservoirs de stockage de gaz liquéfiés tels que le propane et l'ammoniac sont des exemples courants de cuves sous pression. Ils sont soumis à des règles de sécurité strictes et doivent être régulièrement inspectés et testés pour garantir la sécurité de leur utilisation. [1] [3] [2] [4]

1.1.1. Historique :

La plus ancienne documentation sur la conception d'un réservoir sous pression se trouve dans le Codex Madrid de « Léonard de Vinci », rédigé en 1495. Toutefois, ce modèle n'avait ni le même domaine d'utilisation ni les mêmes caractéristiques que ce que l'on peut appeler un réservoir sous pression moderne. Les premiers ancêtres des cuves sous pression actuelles ont été conçus dans les années 1800, au début de la révolution industrielle. Cependant, ces premiers réservoirs sous pression et chaudières manquaient de qualité matérielle et de techniques de fabrication. Ils étaient dangereux et ont provoqué de nombreux accidents mortels jusqu'à ce que l'American Society of Mechanical Engineers publie en 1915 le premier code ASME pour les chaudières (aujourd'hui Section I).

De nos jours, les vérifications par analyse par éléments finis sont de plus en plus étendues et donnent des résultats remarquables. [3]

1.1.2. Applications : [5]

Les cuves sous pressions ont de nombreuses applications. Les plus courantes sont :

- Récepteurs industriels d'air comprimé.
- Réservoirs domestiques de stockage d'eau chaude.
- Bouteilles de plongée (plongée sous-marine).

- Tours de distillation.
- Autoclaves (dans l'industrie médicale pour la stérilisation).
- Raffineries de pétrole et usines pétrochimiques.
- Cuves de réacteur nucléaire.
- Réservoirs pneumatiques et hydrauliques.

1.2. Les types et classifications :

Les récipients sous pression sont classés en fonction de plusieurs facteurs :

1.2.1. Épaisseur de la paroi :

Ils sont caractérisés par le rapport entre le rayon moyen de la cuve et l'épaisseur de la paroi [5]. Il existe deux types :

1. Réservoir à paroi mince : (*si le rapport est supérieur à 10*).
2. Réservoir à paroi épaisse : (*si < 10*).

1.2.2. Température de fonctionnement : [5]

1. Réservoirs à basse température (inférieure ou égale à $- 20^{\circ} \text{C}$).
2. Cuves à température normale (entre $- 20^{\circ} \text{C}$ et 150°C).
3. Récipients à température moyenne (entre 150°C et 450°C).
4. Récipients à haute température (supérieure ou égale à 450°C).

1.2.3. Pression de travail : [5]

1. Récipients à basse pression (0,1 MPa à 1,6 MPa).
2. Récipients à pression moyenne (1,6 MPa à 10 MPa).
3. Appareils à haute pression (10 MPa à 100 MPa).
4. Appareils à ultra-haute pression (plus de 100 MPa).

1.2.4. Mode d'installation : [7]

- *Cuves verticales (Figure 1-1).*

L'orientation verticale est utilisée lorsque l'espace au sol est limité et que le volume du réservoir est faible. Cette orientation est également utilisée dans les réservoirs de mélange avec un rapport gaz-liquide élevé.



Figure 1-1 : appareil sous pression verticale [18]

- *Cuves horizontales :*

L'orientation horizontale de la cuve est utilisée dans les échangeurs de chaleur et les barils à éclats. Elle est également utilisée dans les réservoirs de décantation.

1.2.5. **Forme géométrique :**

1.2.5.1. **Réceptacles cylindriques :**

Les cuves cylindriques sous pression « Figure 1-2 » sont composées d'une coque cylindrique et d'un ensemble de têtes. La coque cylindrique est le corps de la cuve sous pression. Les têtes servent de bouchons d'extrémité ou d'enceinte à la coque pour couvrir le contenu de la cuve. Les têtes peuvent avoir un profil plus plat ou plus arrondi. Ce dernier réduit la faiblesse du réservoir cylindrique.

Ils sont les plus utilisés en raison de leur polyvalence. Ils sont beaucoup moins chers à produire que les réceptacles sphériques. Cependant, ils sont généralement plus faibles que les réceptacles sphériques. Ils nécessitent généralement des parois plus épaisses pour obtenir la même résistance des réservoirs sphériques portant la même pression interne. [2]



Figure 1-2 : Cuve sous pression cylindrique Horizontale [20].

On présente ci-dessous les types de têtes des réceptacles cylindriques : [6]

- **Les têtes hémisphériques :**

Une sphère est la forme idéale pour une tête, car la pression dans le récipient est répartie de manière égale sur la surface de la tête. Le rayon (R) de la tête est égal au rayon de la partie cylindrique du récipient « figure 1-3 ».

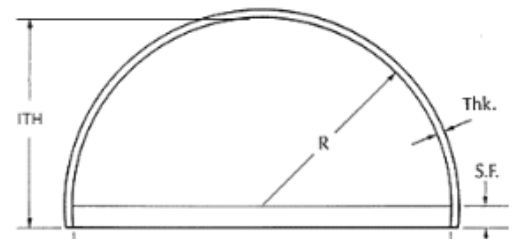


Figure 1-3 : tête hémisphérique

- **Les têtes torisphériques :**

Ces têtes ont une parabole à rayon fixe (CR), dont la taille dépend du type de tête torisphérique, La transition entre le cylindre et la parabole s'appelle le nœud. Le nœud a une forme toroïdale « figure 1-4 ».

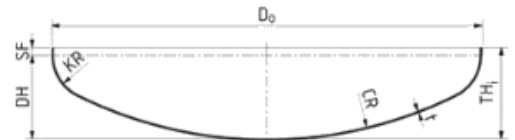


Figure 1-4 : tête torisphérique

- **Les têtes ellipsoïdales :**

Elle est également appelée tête elliptique. La forme de cette tête est plus économique, car la hauteur de la tête ne représente qu'un quart du diamètre. Son rayon varie entre le grand et le petit axe « figure 1-5 ».

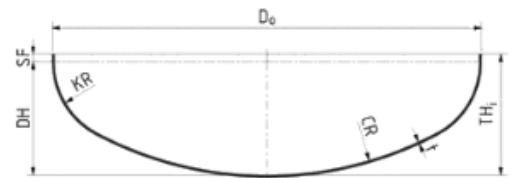


Figure 1-5 : tête ellipsoïdale

1.2.5.2. **Récipients sphériques :**

Les récipients sphériques à pression « figure 1-6 » sont idéaux pour contenir des fluides à haute pression en raison de leur structure solide. La contrainte interne et externe est répartie uniformément sur la surface de la sphère, ce qui signifie qu'il n'y a pas de points faibles. Ils ont une plus petite surface par unité de volume. Les récipients sphériques consomment moins de matière que le récipient cylindrique pour un même volume de stockage.



Figure 1-6 : cuve sous pression sphérique [20]

La surface plus petite de la cuve sphérique aura également moins de transfert de chaleur du corps plus chaud par rapport à d'autres formes [2].

Généralement utilisées pour stocker les produits sous haute pression comme : le propane, le butane. Leurs volumes varient de 500 à 4500 m³ Les sphères sont toutefois beaucoup plus coûteuses à fabriquer que les récipients cylindriques. [5]

1.2.5.3. Récipients rectangulaires

La cuve sous pression rectangulaire « figure 1-7 » est utilisée pour stocker des fluides, ou déchets radioactifs. La pression interne est sensiblement supérieure à la pression ambiante. Elle a plus de volume que la cuve cylindrique pour les mêmes dimensions. Elle est principalement utilisée dans les hôpitaux, par exemple, lorsque l'espace est limité. [8]

Les formes rectangulaires ou polygonales peuvent présenter une très forte concentration de contraintes dans les angles, ce qui peut entraîner une faiblesse ou une usure prématurée du réservoir. [9]



Figure 1-7 : Récipient rectangulaire

1.3. Composants d'une cuve sous pression : [19]

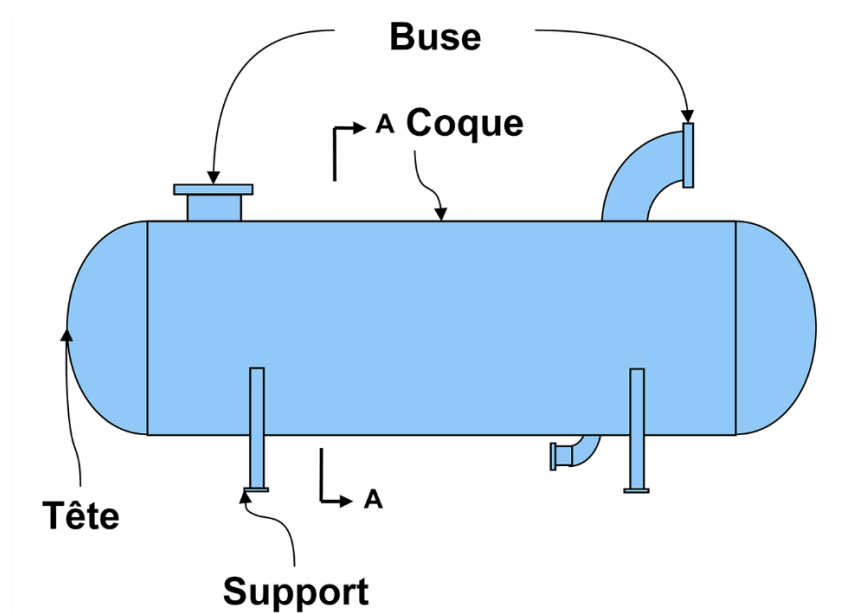


Figure 1-8 : Composants principaux d'un réservoir sous pression [19]

Les principaux constituants des appareils sous pression sont généralement (Figure I-8) :

1) **Coque** : C'est le composant primaire qui subit la pression. Elle est sous forme de plaques différentes soudées ensemble pour former une structure ayant un axe de rotation commun. Elles sont de forme cylindrique, sphérique ou conique.

2) **La tête** : Tous les récipients sous pression doivent être fermés aux extrémités par des têtes. Elle est habituellement incurvée plutôt que plate. La raison en est que les configurations courbes sont plus fortes et permettent aux têtes d'être plus minces, plus légères et moins coûteuses que les têtes plates. Elle peut également être utilisée à l'intérieur d'un réservoir et sera appelée tête intermédiaire. Les têtes intermédiaires sont des sections séparées des récipients sous pression pour permettre des conditions de conception différentes.

3) **La buse** : C'est un composant cylindrique qui pénètre dans la coque ou la tête du réservoir sous pression. Elle est utilisée pour fixer la tuyauterie à l'entrée ou à la sortie de la cuve, pour raccorder les instruments (jauges de niveau, manomètres) et pour donner accès à l'intérieur de la cuve (trou d'homme) ou pour permettre la fixation directe d'autres articles d'équipement (p. ex., échangeurs de chaleur).

4) **Le support** : Il est utilisé pour supporter toute la charge des réservoirs sous pression, des séismes et des vents. Il existe différents types de supports, en fonction de la taille et de l'orientation de la cuve sous pression. Il est la partie non pressurisée du réservoir.

1.4. Choix du matériau :

Lors de la sélection du matériau, les considérations suivantes doivent être prises en compte [10] :

- Les matériaux doivent résister à diverses pressions internes et externes et à des contraintes structurelles au cours de la durée de vie de l'appareil sous pression.
- Ils doivent résister à la corrosion.
- Les coûts des matériaux, de la fabrication et de l'entretien doivent être pris en compte tout au long de l'existence de l'appareil sous pression
- La simplicité de fabrication et d'entretien : Les tôles doivent être bien usinées et soudables, car elles sont moulées pour générer la géométrie des appareils à pression.
- Ils doivent être disponibles sur le marché.

Les matériaux utilisés couramment sont : [14]

- Acier inoxydable.
- Acier au Carbone.
- Titanium.
- Alliage de Nickel.

1.5. Paramètres de conception :

- **Pression de conception :**

Le calcul des spécifications des cuves se fait autour de la pression de conception. Une valeur obtenue à partir de la pression de fonctionnement maximale attendue lors des démarrages, des arrêts d'urgence, des anomalies du processus et d'autres conditions de perturbation. La pression de conception doit être supérieure de 5 à 10 % à la pression de fonctionnement maximale. Si le récipient est susceptible de subir une pression de vide, la conception doit être résister à un vide complet (-14,7 PSI). [11]

- **Température de conception :**

La pression maximale admissible dépend de la température, car la résistance du matériau peut diminuer avec l'augmentation de la température, et la ténacité du matériau peut être plus faible à basse température. Les appareils sous pression ne doivent pas fonctionner à une température supérieure à la valeur existante lors de l'évaluation de la contrainte maximale admissible. [11]

- **Pression maximale admissible (PMA)**

Il s'agit de la pression la plus élevée que la partie la plus faible de la cuve peut supporter à sa température de fonctionnement. [13]

- **Surépaisseur de corrosion :**

La surépaisseur de corrosion est la quantité de matériau ajoutée à l'épaisseur de conception pour tenir compte de la corrosion en service. [13]

- **Efficacité du joint :**

L'efficacité du joint est le rapport entre la résistance de la plaque soudée et la résistance de la plaque vierge non soudée. En général, la résistance est plus faible au niveau du joint soudé.[2]

- **Contrainte maximale admissible :**

La contrainte maximale admissible est obtenue en divisant par un facteur de sécurité la valeur de la contrainte maximale que le matériau peut supporter. Le facteur de sécurité tient compte des écarts possibles par rapport à la construction et au fonctionnement idéaux de l'appareil sous pression. [2]

1.6. Défaillances : [12]

Des inspections récentes de récipients sous pression ont montré qu'il y a un nombre considérable de récipients fissurés et endommagés sur les lieux de travail. Pour prévenir les ruptures des cuves sous pression, il est essentiel d'identifier les défaillances potentielles. Il s'agit notamment de comprendre les différents types de défaillance liés aux matériaux, à la conception, à la fabrication et à l'entretien :

- Matériaux : Fissures difficiles à repérer, érosion du matériau de la cuve, corrosion et amincissement du matériau, fragilisation du matériau due à une température plus basse, sélection incorrecte du matériau et défaillance due au fluage et à la fatigue.
- Conception : Conception défectueuse de la cuve, données de conception incorrectes, essais insuffisants ou inexistantes, absence de détection précoce des faiblesses de la conception, mauvaise mise en œuvre de la soupape de sécurité et composition inappropriée du contenu de la cuve.
- Fabrication : Mauvaise qualité de soudure, erreur de fabrication, produit différent des spécifications standard, processus de fabrication incorrect, assemblage ou installation incorrects.
- Service : Opérateur inexpérimenté, mauvais entretien de la cuve, fonctionnement au-delà de la pression et de la température de service autorisé, changement des conditions de service, modifications dangereuses/non autorisées, réparation incorrecte des fuites, conditions d'étiage et conditions de stress excessif.

1.7. Inspection des appareils sous-pression :

Voici quelques éléments clés que les inspecteurs surveillent pendant les essais internes et externes :

1.7.1. Inspection interne des appareils à pression : [14]

- Tout défaut éventuel.
- Des raccords filetés sûrs.
- Ouvertures éventuelles.
- Fermetures spéciales.
- Zones à fortes contraintes.

1.7.2. Inspection externe des appareils à pression : [14]

Les inspections externes peuvent être effectuées lorsque le réservoir est en service ou lorsqu'il est vide. Elles sont généralement plus fréquentes que les inspections internes car elles

peuvent être effectuées à tout moment. Les points d'inspection externe sont généralement les suivants :

- 1) Tous les revêtements.
- 2) L'extérieur de l'appareil sous pression.
- 3) Supports.
- 4) Récipients et raccords de récipients.
- 5) Écrous, boulons et faces de brides.
- 6) Surfaces et têtes de la coque.
- 7) Joints soudés et zones adjacentes.

1.7.3. Techniques d'inspection : [15]

Les techniques CND suivantes sont utilisées pour la détection des défauts de surface :

- Tests visuels
- Contrôle par magnétoscopie
- Contrôle par courants de Foucault
- Ressuage
- Contrôle par ultrasons
- Contrôle radiographique

1.8. Généralités sur les camions citerne

Le camion-citerne est un véhicule « figure 2-1 » utilisé pour le transport de liquides, de gaz ou encore de pulvérulents stockés en vrac.

En raison de la diversité des matériaux liquéfiés, il existe différents modèles de remorques, Les facteurs distinctifs des remorques-citernes comprennent : la forme de la citerne, le type de charge qu'une remorque transporte et la taille. D'autres facteurs distinctifs sont la capacité de réfrigération, la capacité de pressurisation et la résistance aux acides.

Les types les plus courants sont : [24]

- Remorque-citerne de carburant.
- Remorque citerne de poudre en vrac.
- Remorque à tubes GNC (gaz naturel comprimé).
- Remorque-citerne GNL (gaz naturel liquéfié).
- Remorque-citerne GPL (gaz de pétrole liquéfié).



Figure 1-9 : camion-citerne [24]

1.8.1. . Chargement et déchargement [29] :

Le chargement d'une remorque-citerne GPL est un processus de transfert entre le réservoir de stockage GPL et le camion de transport GPL. Le processus implique l'utilisation d'une pompe à palettes coulissantes pour décharger le réservoir de stockage tout en remplissant le camion de transport. Voici une description détaillée de ce processus :

1. Avant de commencer le processus, on procède à l'égalisation de la pression entre les deux réservoirs afin de faciliter le transfert du gaz liquéfié.
2. La pompe à palettes est ensuite mise en marche et fonctionne en tirant le gaz de pétrole liquéfié du fond du réservoir de stockage par un tuyau de refoulement et en l'acheminant par le fond du réservoir de transport.
3. Au fur et à mesure que le réservoir de transport se remplit de gaz liquéfié, la vapeur accumulée est transférée passivement du haut du réservoir de transport vers le haut du réservoir de stockage. Cela permet de maintenir l'équilibre de la pression pendant le processus de transfert.
4. Le processus de transfert de gaz de pétrole liquéfié est terminé lorsque le réservoir de transport est rempli au volume souhaité.

1.8.2. Considérations relatives au poids [24] :

La conception d'un réservoir de GPL fait une large place aux considérations de poids.

Idéalement, les réservoirs de bouteilles de GPL sont lourds par nature. À pleine capacité, le poids peut être deux fois supérieur au poids du contenu GPL.

Lorsqu'il s'agit d'une remorque-citerne à GPL, les fabricants veillent généralement à ce que :

- a) L'équilibre du poids doit favoriser la stabilité du remorquage
- b) La remorque ne dépasse pas le poids maximal recommandé par le fabricant.
- c) Il s'agit généralement du poids brut du véhicule, également connu sous le nom de poids maximal autorisé.
- d) Là encore, le poids du nez ne doit pas dépasser la fourchette de remorquage fixée par le fabricant.
- e) La remorque ne doit pas dépasser le poids du véhicule qui la tracte.
- f) Le poids combiné de la remorque et du véhicule tracteur ne doit pas dépasser les recommandations du fabricant du véhicule.

1.9. Normes et Codes pour les appareils sous pression :

Il existe des normes et des codes établis par des organismes de réglementation agréés pour la conception, la construction, le soudage, les essais, le marquage, le fonctionnement, l'inspection et la réparation de tout récipient sous pression, qui fournissent des garanties fondamentales et de bonnes pratiques de sécurité.

Les normes et les codes varient d'un pays « figure 1-10 » à l'autre, mais les codes les plus couramment utilisés sont les suivants : [16]

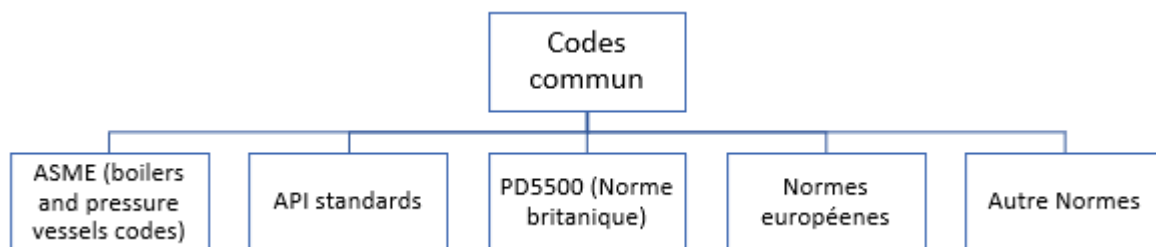


Figure 1-10 : les plus communs codes de fabrication des cuves

- **ASME BPVC :**

Il a été créé aux Etats-Unis ; plusieurs compagnies d'assurance ont exigé un code de conception afin de réduire les pertes et les accidents. La norme ASME Boiler and Pressure Vessel est divisée en plusieurs Sections « figure 1-11 » : [17]

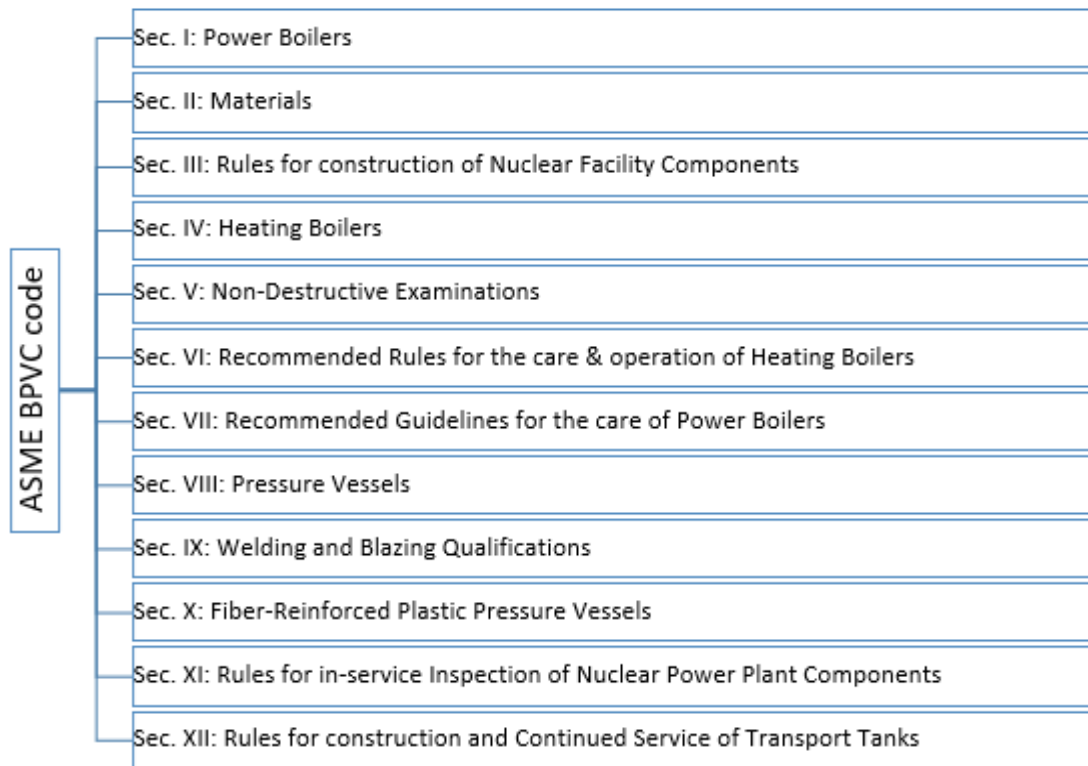


Figure 1-11 : Les sections de l'ASME [33].

La section VIII de l'ASME comprend les règles applicables aux appareils à pression avec ou sans combustion, Elle est divisée en trois divisions en fonction de la limite de pression.

- **La division I :**

Englobe tous les récipients sous pression destinés à fonctionner à une pression interne ou externe pouvant dépasser 15 psis. Ces récipients peuvent être alimentés ou non, et la pression peut être obtenue à partir d'une source externe ou à la suite d'un chauffage direct ou indirect. L'approche de la conception par règle est adaptée par les ingénieurs. La division I est fondée sur la théorie des contraintes normales.

- **La division II :**

Couvre tous les appareils à pression destinés à fonctionner à des pressions internes ou externes allant jusqu'à 10 000 psis. Les exigences de la division II relatives aux matériaux, à la conception et aux examens non destructifs sont plus rigoureuses que celles de la division I. Elles requièrent des calculs plus détaillés. Cependant, elle permet de soumettre les appareils à pression à des contraintes plus élevées.

- **La division III :**

Énonce les exigences et les interdictions obligatoires pour les appareils à pression destinés à fonctionner à une pression supérieure à 10 000 psis. [2]

CHAPITRE II

Présentation de la citerne et calculs préliminaires

2.1. Introduction:

Dans ce chapitre, on présente les données de base de la citerne, fournies par CR Metal. Nous présentons également des calculs. Une partie de ces calculs est effectuée selon la norme ASME VIII div.1 [26]. Nous rappelons que la structure de la citerne se compose de deux parties : la première est constituée d'une virole, et des deux fonds, la seconde de berceaux pour la fixation sur le camion, ainsi que du trou d'homme. Il existe d'autres parties non essentielles pour l'intégrité de la structure et par conséquent non prises en compte dans les calculs. Le calcul de la première partie s'effectue selon la norme ASME. Le calcul de la seconde s'effectue par une simulation par éléments finis, en utilisant le logiciel Solidworks. Ce chapitre est consacré au calcul de la première partie. On commence par une présentation générale de la citerne.

2.2. Présentation de la citerne

Notre remorque-citerne (Figure 2-1) est une solution de transport construite en acier P440. Elle a une capacité de 38 m³. Elle est constituée de :

- 1) Un trou d'homme.
- 2) Des supports de fixation (Berceaux).
- 3) Brise-lames.
- 4) Fonds.
- 5) Un pare-soleil.

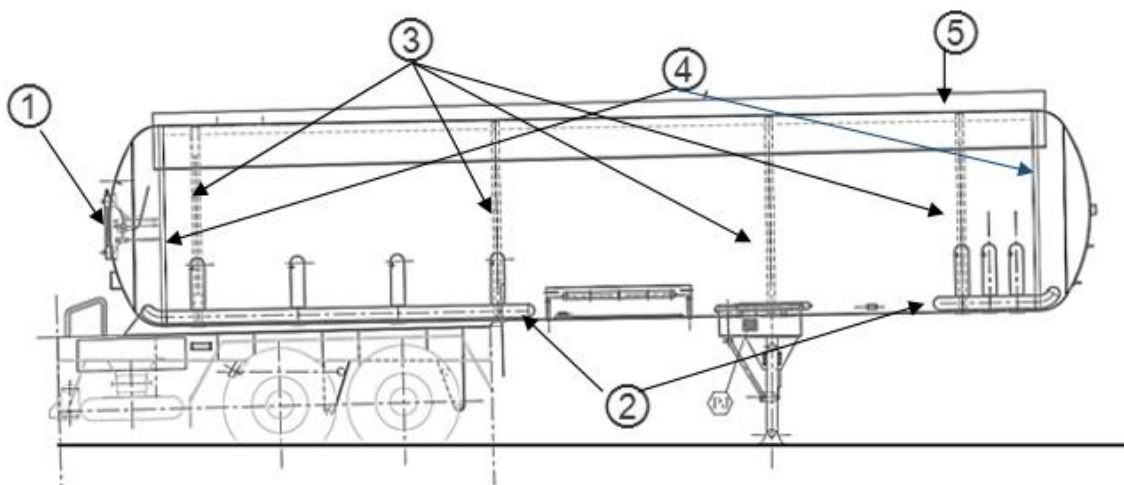


Figure 2-1 : Divers constituants de la citerne.

Elle est également constituée d'autres équipements et accessoires conçus pour optimiser l'efficacité et la sécurité du transport du propane. Ces différents équipements sont définis dans les plans donnés en annexe 2.

Le tableau suivant présente les données de base et les matériaux utilisés pour les différents composants, ces données sont fournies par CR-Métal :

Fluide transporté	Propane commercial
Pression de service	19.30 bar
Température de service	Min : -20 C, Max : 50 C
Pression de calcul	19.3 bar
Température de calcul	Min : -20 C, Max : 50 C
Coefficient du joint	1
Coefficient de sécurité	3
Surépaisseur de corrosion	Supérieure ou égale à 5/10 mm

Tableau 2-1 : tableau de données de base.

Matériaux :

Désignation	Nuance
Fonds elliptique : 1,9 :1	ACIER P440 NJ4
Virole	ACIER P440 NJ4
Renforts	ACIER P440 NJ4/S355
Supports	ACIER S355 J2
Vis d'attache citerne sur châssis / écrous fondu	XC38F 8 Class 10.9
Bride / Manchon	SA350LF2
Joints	KLINGERSIL C4400
Tige Filetées / écrous	SA320L7/SA194Gr4
Brise-lames	S355 JR2

Pare-soleil	ALUMINIUM
-------------	------------------

Tableau 2-2 : tableau des matériaux utilisés.

Le matériau de la virole et du fond elliptique sont spécifiés par la norme NF-36-215.

2.2.1. Les exigences réglementaires du matériau [21] :

- $Re/R_m \leq 0.85$, où Re est la limite élastique et R_m est la contrainte de rupture,
- $Re \leq 460 \text{ N/mm}^2$,
- $R_m \leq 725 \text{ N/mm}^2$,

Nous mènerons notre étude en utilisant le matériau ACIER P440 NJ4. Il appartient à la norme AFNOR NFA 36-215 qui spécifie les aciers soudables à grains fins adaptés au transport de matières dangereuses. [21]

2.2.2. Accessoires de la citerne :

1) Brise-lames

Un liquide fluctue dans toutes les directions dans le réservoir lorsque la remorque roule sur une pente ou avec le changement de vitesse. Si la remorque à réservoir de carburant a une grande capacité, les fluctuations entraîneront des changements importants du centre de masse. Cela entraînera à son tour des changements importants de la charge par essieu, ce qui affectera la stabilité du camion et de la remorque. L'utilisation d'un modèle avec des brises lames ou des brises vagues réduit les variations de la charge par essieu et maintient donc la stabilité de la remorque.

Charge de rupture minimum	570 N/mm ²
Limite élastique minimum	410 N/mm ²

Tableau 2-3 : les propriétés d'ACIER P440 NJ4

Conformément à la norme européenne ADR "Annexe A. 6.7.2.20", pour les camions-citernes transportant du GPL, aucune section de la citerne ne doit dépasser 7500 litres. Pour notre camion-citerne de 38000 litres, cela signifie qu'il doit être divisé en au moins 5 sections.

Le matériau utilisé pour les brise-lames est le S355 JR2. Ses propriétés mécaniques sont présentées dans le tableau 2-4.

Charge de rupture	450 N/mm ²
Limite élastique	410 N/mm ²

Tableau 2-4 : Tableau des propriétés du S355 JR2 (CR Metal).

2) Trou d'homme :

Le matériau utilisé pour le trou d'homme est ASTM A350 LF2. Ses propriétés sont présentées dans le tableau 2-5.

Charge de rupture	485 N/mm ²
Limite élastique	250 N/mm ²

Tableau 2-5 : propriétés mécaniques de ASTM A350 LF2 (CR Metal).

3) Berceaux

Lorsque ces réservoirs sous pression sont chargés sur des supports de camion-citerne, ils sont solidement fixés sur un châssis de camion ou une remorque à l'aide de structures de support spécifiques. Ces supports sont conçus pour assurer la stabilité et la sécurité de la fixation, afin que le réservoir reste en place pendant le transport.

Les supports du réservoir ont été adaptés aux dimensions du châssis sur lequel il sera monté. Le plan des supports est décrit dans le plan "Plan N6". Il existe deux parties distinctes pour les supports, l'une étant fixée sur la remorque et l'autre sur le camion.

Les dimensions utilisées pour la conception des berceaux sont normalisées et fournies par le CR-Metal pour les citernes de diamètre de 2200 mm et sont présentées dans l'annexe 2 « Plan N7, N8 ».

4) Groupe GDR

Le coffre du groupe GDR est un coffre dans lequel sont regroupées toutes les vannes et les équipements nécessaires au chargement et au déchargement du GPL. Ce coffre offre une protection et abrite l'ensemble de ces composants essentiels.

Le matériau utilisé pour ce coffre est S235JR qui aux propriétés mécaniques représenté dans le tableau 2-6

Charge de rupture	360 N/mm ²
Limite élastique	235 N/mm ²

Tableau 2-6 : propriétés mécaniques du S235JR.

5) Pare-soleil

Ces protections solaires peuvent être conçues pour minimiser l'exposition directe au soleil. On va utiliser le matériau d'aluminium pour le pare soleil pour sa légèreté.

6) Les vannes :

Les vannes dans les cuves sous pression sont des dispositifs mécaniques utilisés pour contrôler, réguler et arrêter le débit du fluide à l'intérieur de la cuve. Les vannes utilisées dans notre cas sont [25] :

- La vanne de retour liquide : elle permet de réguler le flux de liquide GPL qui retourne de l'installation vers la cuve. Elle assure le retour du liquide dans la cuve, en maintenant un équilibre entre la phase liquide et la phase gazeux de propane.
- Vanne de retour gaz : elle permet le retour du gaz depuis une installation ou un appareil vers la source d'approvisionnement.
- Les vannes de purge : sont des dispositifs utilisés dans les cuves sous pression pour libérer ou évacuer la pression interne de manière contrôlée.
- La vanne Chek-Lok : est une vanne actionnée de retrait de liquide à débit excessif que l'on trouve dans la plupart des bouteilles de gaz GPL horizontales. Elle est conçue pour fournir un moyen pratique de prélever du liquide dans des conteneurs stationnaires avant de déplacer le conteneur.
- Soupape de sécurité : Lorsque la pression à l'intérieur du réservoir dépasse le niveau optimal, la soupape de décharge s'ouvre automatiquement.
- La vanne d'arrêt d'urgence : Lorsque le tuyau de déchargement est endommagé, le système d'arrêt d'urgence coupe le flux. En cas d'incendie ou si la température ambiante dépasse 70°C, la vanne d'arrêt d'urgence arrête l'écoulement.

2.3. Détails des calculs de la première partie de la citerne :

Nous rappelons que la première partie contient la virole et les fonds. Nous allons présenter les données du problème, fournies par CR Metal. Nous présentons également les détails du dimensionnement de la citerne et des calculs avec la norme ASME VIII div1 [26].

2.3.1. Données des calculs (Tableau 1)

Donné	Valeur
R_m : Limite de rupture	570 N/mm ²
D_e : Diamètre extérieur	2200 mm
P : Pression de calcul	1,93 MPa
CA : tolérance de corrosion	0,5 mm
E : efficacité du joint	1
r_e : rayon extérieur de la citerne	1100 mm
s : coefficient de sécurité	3
V_T : Volume totale de la citerne	38.65 m ³
ρ : masse volumique de l'acier	7850 Kg/m ³

Tableau 2-7: Données du calcul fournies par le CR Metal.

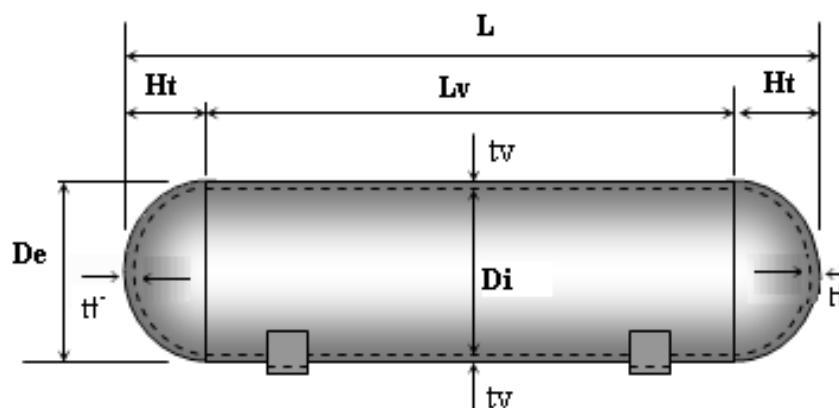


Figure 2-2 : dimensions de la cuve

2.3.2. Calculs des épaisseurs :

Tous d'abord nous devons calculer les épaisseurs minimales des fonds et la virole en utilisant les lois de l'ASME VIII div.1

2.3.2.1. *Contrainte Admissible :*

On calcul la contrainte admissible afin de garantir une marge de sécurité et de tenir compte des incertitudes dans les calculs ou des charges imprévues en prenant en compte à la fois la résistance du matériau et la marge de sécurité requise.

$$S = \frac{R_m}{s} = \frac{570}{3}$$

$$S = 190 \text{ Mpa}$$

2.3.2.2. *Calcul de l'épaisseur t_v de la virole « figure 2-6 » :*

De l'ASME VIII div.1 UG-27 :

$$t_v = \frac{P \cdot r_e}{S \cdot E + 0,4P} + CA = \frac{1,93 \cdot 1100}{190 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,93} + 0,5$$

$$t_v = 11,62 \text{ mm}$$

- Donc l'épaisseur de la virole adoptée est : $t_v = 12 \text{ mm}$

2.3.2.3. *Calcul de l'épaisseur t_f du fond « figure 2-7 » :*

De l'ASME VIII div.1 :

$$t_f = \frac{PD_e}{2SE + 1,8 \cdot P} + CA$$
$$t_f = \frac{1,93 \cdot 2200}{2 \cdot 190 \cdot 1 + 1,8 \cdot 1,93} + 0,5$$

$$t_f = 11,57$$

- Donc l'épaisseur de fond elliptique adoptée est : $t_f = 12 \text{ mm}$

2.3.3. **Géométrie du fond** (figure 2-7) :

D'après CR-Metal, on prend les dimensions du fond elliptique (type F) du « tableau 2-8 » correspondant au diamètre 2200 mm et à la ligne de l'épaisseur $t=12$. [27]

	D	t	R	r	h	Ht	Kg.	V
	2200	5	1760	340	40	602	220	1523
		6	1760	340	40	602	270	1523
		8	1760	340	40	602	360	1523
		10	1760	340	50	615	450	1555
		12	1760	340	50	615	550	1555
		15	1760	340	50	615	680	1555
		18	1760	340	50	618	820	1555
		20	1760	340	50	618	910	1555
		22	1760	340	50	618	1000	1555

Tableau 2-8 : Les dimensions des fonds elliptiques de diamètre 2200 mm [27]

Où :

t_f = l'épaisseur de fond = 12 mm

R = rayon du fond = 1760 mm

r = rayon de carre = 340 mm

h = hauteur du bord droit = 50 mm

Ht = hauteur extérieur totale =
615mm

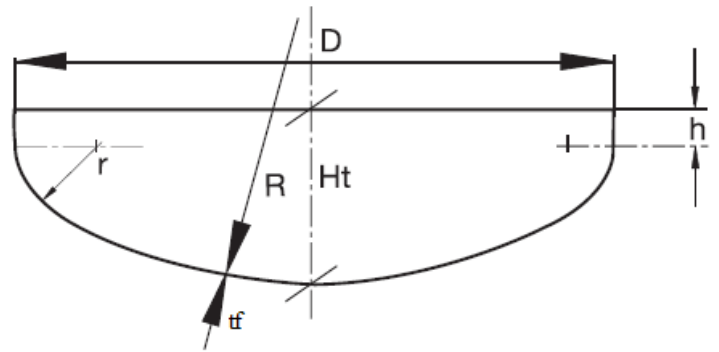


Figure 2-3 : fond elliptique (type F) [27]

2.3.4. Calculs des volumes et longueurs :

2.3.4.1. Calcule du Volume intérieur du fond V_{int} :

D'après le Tableau « 2-7 », $V_T = 38.65 \text{ m}^3$, et d'après le Tableau « 2-8 ».

Donc le volume du fond est : $V_{inf} = 1.555 \text{ m}^3$ (V sur le Tableau 2-8),

2.3.4.2. Volume V_v de la virole :

Le volume V_T du contenu à l'intérieur géométrique de la cuve « Tableau 3-1 » est de :

$$V_T = 38.65 \text{ m}^3$$

Le volume $V_{t_{int}}$ intérieur des deux fonds bombés :

$$V_{t_{int}} = 2 \cdot V_{inf} = 3.110 \text{ m}^3$$

Alors le volume interne V_v de la virole :

$$V_v = V_T - V_{t_{int}}$$

$$V_v = 35.54 \text{ m}^3$$

2.3.4.3. *Longueur L_v de la virole :*

En connaissant le volume interne de la virole et son rayon $r_i = \frac{D_e}{2} - t_v = 1088 \text{ mm}$, on peut calculer sa longueur :

$$V_v = \pi \cdot (r_i)^2 \cdot L_v$$

On obtient :

$$L_v = \frac{V_v}{\pi \cdot (r_i)^2}$$

$$L_v = \frac{35.54}{\pi \cdot 1.088^2}$$

$$L_v = 9556 \text{ mm} \approx 9560 \text{ mm}$$

2.3.4.4. *Longueur totale L de la citerne :*

En additionnant la longueur de la virole avec la hauteur extérieure totale des deux fonds on obtient la longueur totale de la citerne

$$L = L_v + 2 \cdot H_t$$

$$L = 9560 + 615 \cdot 2$$

$$L = 10790 \text{ mm}$$

2.3.5. *Calcul des masses de la citerne :*

Afin d'évaluer l'effet du changement de matériau sur la masse de la structure, on calcule dans cette partie les nouvelles masses

2.3.5.1. *Masse M_v de la virole :*

$$M_v = 2 \cdot \pi \cdot r_e \cdot L \cdot t \cdot \rho$$

$$M_v = 2 \cdot \pi \cdot 1,1 \cdot 9,560 \cdot 0,012 \cdot 7850$$

$$M_v = 6224.16 \text{ kg}$$

2.3.5.2. *Masse M_{tf} de la tôle du fond :*

$$M_{tf} = V_{tf} \cdot \rho$$

Où V_{tf} est le volume de la tôle du fond [32]

$$V_{tf} = \frac{\pi \cdot (2 \cdot (r_e)^2 + \frac{H_t^2}{e} \cdot \ln \frac{1+e}{1-e})}{2} \cdot t$$

Avec :

$$e = \frac{\sqrt{(r_e)^2 - H_t^2}}{r_e}$$

$$V_{tf} = 0.0659 \text{ m}^3$$

Donc la Masse M_{tf} de la tôle du fond est :

$$M_{tf} = 0.0659 \cdot 7850$$

$$M_{tf} = 517.31 \text{ Kg}$$

Pour deux fonds ellipsoïdaux on multiplie par 2 :

$$M_{fonds} = 2 \cdot M_{tf}$$

$$M_{fonds} = 2 \cdot 517,31$$

$$M_{fonds} = 1034.63 \text{ Kg}$$

2.3.5.3. *Masse totale de la citerne vide :*

D'après le plan « Plan N5 » la masse d'un brise-lames est égale à 596 Kg puisqu'il y a 4 brise-lames la masse totale des brise-lames est donné par :

$$M_{brise\ lames} = 596 \cdot 4 = 2384 \text{ kg}$$

D'après le plan « Plan N6 » la masse d'une bride M_{bride} est :

$$M_{bride} = 262 \text{ kg}$$

$$m_{total} = M_v + M_{fonds} + M_{brise\ lames} + M_{bride}$$

$$m_{total} = 6224,16 + 1034.63 + 2384 + 262$$

$$m_{total} = 9904 \text{ kg} \approx 10000 \text{ kg}$$

2.3.6. **Pression hydrostatique :**

Nous effectuons les calculs avec une pression de 1,93 MPa (tableau 2-1). Or dans le réservoir le propane existe en deux états : liquide et gaz (figure 2,4). 1,93 MPa est la pression du gaz sur les parois. Il existe aussi une pression hydrostatique sur les parois de la partie liquide, Sa valeur maximale est donnée par :

$$P_h = \rho_{\text{propane}} \cdot g \cdot h$$

Avec :

$$\rho_{\text{propane}} = 580 ;$$

$$g = 9,81 ;$$

$$h = 1,850 \text{ m} ; \text{ (remplie au niveau max 85\%)}$$

$$P_h = 580 \cdot 9,81 \cdot 1850$$

$$P_h = 10526 \text{ Pa}$$

$$P_h = 0.105 \text{ MPa}$$

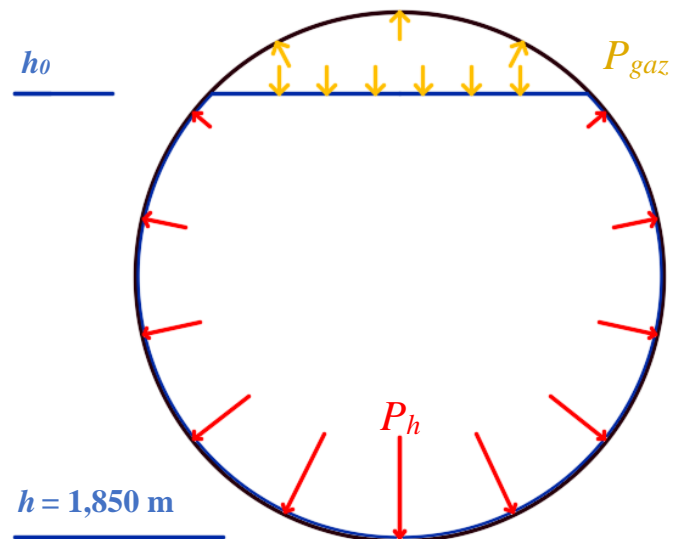


Figure 2-4 : Pression hydrostatique

On constate que la pression hydrostatique est faible par rapport à la pression du gaz est sera donc négligée.

2.3.7. Pression de liquéfaction du gaz

La pression nécessaire pour liquéfier le GPL varie en fonction de la température : plus la température augmente, plus la pression requise pour la liquéfaction est élevée. Dans notre cas, nous prendrons cette pression à la température extrême de 54 degrés (17.9 bar) [28]. La pression de calcul que nous avons utilisée, soit 19.3bar, est supérieure. Cela veut dire que notre calcul se fait dans des conditions largement plus défavorables que le chargement réel.

2.4. Comparaison entre la conception en ACIER P440 NJ4 et SA516 :

Afin de mettre en évidence le gain en masse obtenu avec le nouveau matériau, nous recalculons les épaisseurs de la virole et du fond avec l'ancien acier SA516. La charge de rupture et le coefficient de sécurité de l'ancien acier sont données dans le tableau 2-9.

Charge de rupture	485 N/mm ²
Coefficient de sécurité	3.5

Tableau 2-9 : charge de rupture et coefficient de sécurité de SA 516 Gr 70.

2.4.1. Contrainte admissible S' :

$$S' = \frac{R_m'}{s'} = \frac{485}{3.5}$$

$$S' = 138 \text{ Mpa}$$

2.4.2. Epaisseur de virole t_v' :

$$t_v' = \frac{1,93 \cdot 1100}{138 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,93} + 0,5 = 15,79 \text{ mm}$$

2.4.3. Epaisseur du fond t_f' :

$$t_f' = \frac{1,93 \cdot 2200}{2 \cdot 138 \cdot 1 + 1,8 \cdot 1,93} + 0,5 = 15,69 \text{ mm}$$

- Donc l'épaisseur de la virole et fond elliptique adoptée est : $t_f' = 16 \text{ mm}$

$$t' = 16 \text{ mm}$$

Il y a une différence de 4 mm dans l'épaisseur entre l'ancien acier et le nouveau

2.4.4. Masse $M_{v'}$ de la virole :

$$M_{v'} = 2 \cdot \pi \cdot r_e \cdot L \cdot t' \cdot \rho$$

$$M_{v'} = 2 \cdot \pi \cdot 1,1 \cdot 9,560 \cdot 0,016 \cdot 7850$$

$$M_{v'} = 8298,89 \text{ kg}$$

2.4.5. Masse M_f' des fonds :

$$M_f' = V_{tf} \cdot \rho$$

Où V_{tf} est le volume de la tôle du fond [32]

$$V_{tf} = \frac{\pi \cdot (2 \cdot (r_e)^2 + \frac{H_t^2}{e} \cdot \ln \frac{1+e}{1-e})}{2} \cdot t'$$

Avec :

$$e = \frac{\sqrt{(r_e)^2 - H_t^2}}{r_e}$$

$$V_{tf}' = 0.0878 \text{ m}^3$$

Donc la Masse M_{tf} de la tôle du fond est :

$$M_{tf}' = 0.0878 \cdot 7850$$

$$M_{tf}' = 689.25 \text{ Kg}$$

Pour deux fonds ellipsoïdaux on multiplie par 2 :

$$M_{fonds}' = 2 \cdot M_{tf}$$

$$M_{fonds}' = 2 \cdot 689.25$$

$$M_{fonds}' = 1378.5 \text{ Kg}$$

2.4.6. Le totale de la virole et les fonds :

$$M_{SA516} = 1378.5 + 8298.98$$

$$M_{SA516} = 9677.48$$

2.4.7. Comparé à la masse des viroles et fonds en ACIER P440 NJ4 :

$$M_{P440} = M_{fonds} + M_v$$

$$M_{P440} = 6224.16 + 1034.63$$

$$M_{P440} = 7258.79 \text{ Kg}$$

CHAPITRE III

Modélisation et simulation

1.1. Introduction :

Nous rappelons que nous n'avons déterminé les dimensions de la partie 1 de la structure selon la norme ASME. Il n'existe pas de norme pour la partie 2 (les supports et le trou d'homme). Les dimensions de la partie 2 ont été fournies par CR-Metal. Le but de cette partie est de vérifier la résistance de la structure entière, et particulièrement la résistance des berceaux et du trou d'homme.

Pour cela nous effectuons une simulation par éléments finis de toute la structure. Le logiciel utilisé est Solidworks. L'étude est effectuée en trois étapes :

1) Prétraitement :

- Définition de la géométrie de chaque pièce et application de leurs propriétés mécaniques
- Effectuer l'assemblage des différentes pièces

2) Résolution :

- Définir les conditions aux limites :
 - a) Appliquer les chargements externes (Pression, Gravité)
 - b) Appliquer Les déplacements imposés (Encastrement)
 - c) Créer le maillage
 - d) Lancer le calcul

3) Post-traitement :

- Visualiser les résultats de la simulation et montrer les contraintes et déplacement de la structure et les points les plus dangereux. On s'intéresse particulièrement aux contraintes dans les berceaux et le trou d'homme

Système d'unité utilisé :

Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	Mm
Pression/Contrainte	N/mm ² (MPa)

Tableau 3-1 : Unité utilisé dans la simulation

1.2. Création de la géométrie :

1.2.1. La virole (figure 3-1) :

- Elle est d'une longueur de 9560 mm et diamètre externe de 2200 mm et d'épaisseur de 12 mm
- Le matériau appliqué est P440 NJ4

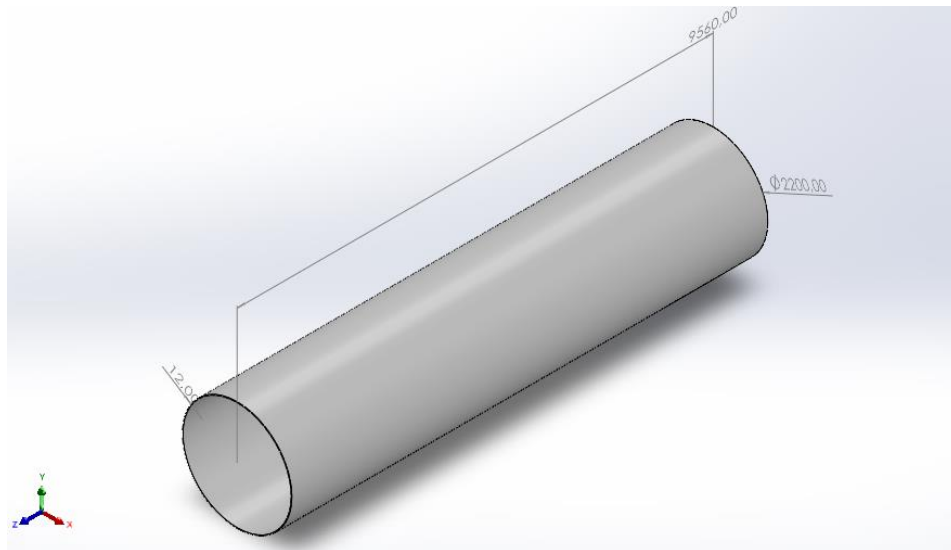


Figure 3-1 : La Virole

1.2.2. Fond elliptique 1 (figure 3-2) :

- Le fond elliptique 1 situé du côté du camion est dessiné avec les dimensions du catalogue des fonds type F
- Le matériau appliqué est P440 NJ4

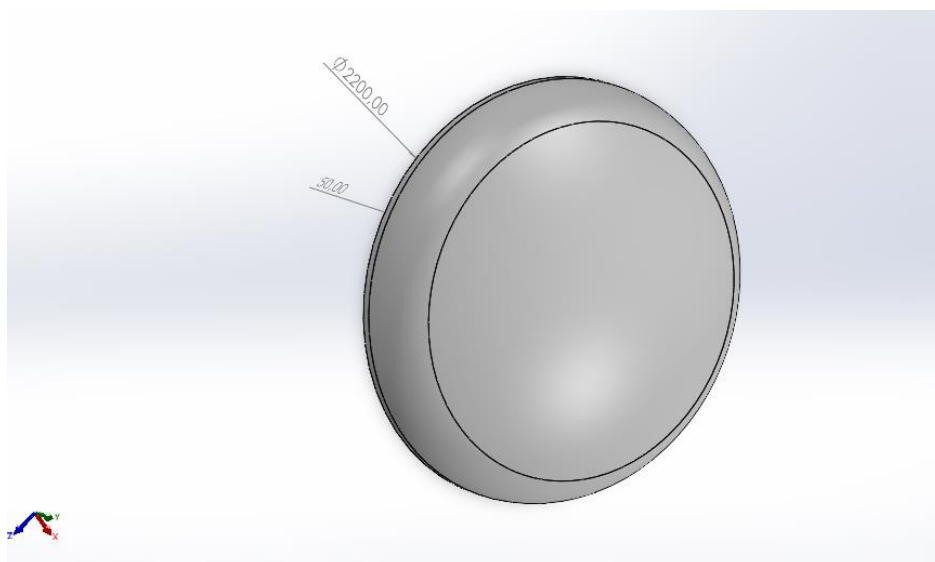


Figure 3-2 : Le Fond elliptique 1

1.2.3. Fond elliptique 2 (figure 3-3) :

- Les dimensions du fond sont les mêmes du fond 1 obtenues du catalogue
- Une découpe circulaire au centre d'un diamètre de 700 mm afin de créer de l'espace où le trou d'homme sera placé.
- Le matériau appliqué est P440 NJ4

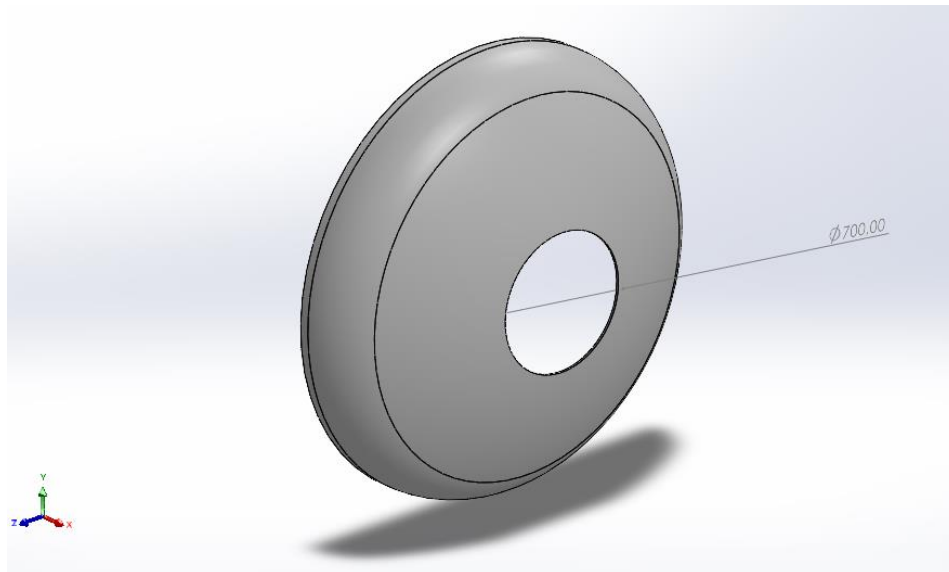


Figure 3-3 : Fond du trou d'homme

1.2.4. Le trou d'homme (figure3-4) :

- Le trou d'homme et la bride attachée au fond elliptique 2 sont conçus à partir des plans de la bride spéciale trouvés dans l'annexe 2, sur le plan « Plan N4 ».
- Le matériau utilisé est ASTM A350 LF2
- Le trou d'homme est composé de deux parties : la bride attachée au fond et le couvert du trou d'homme.

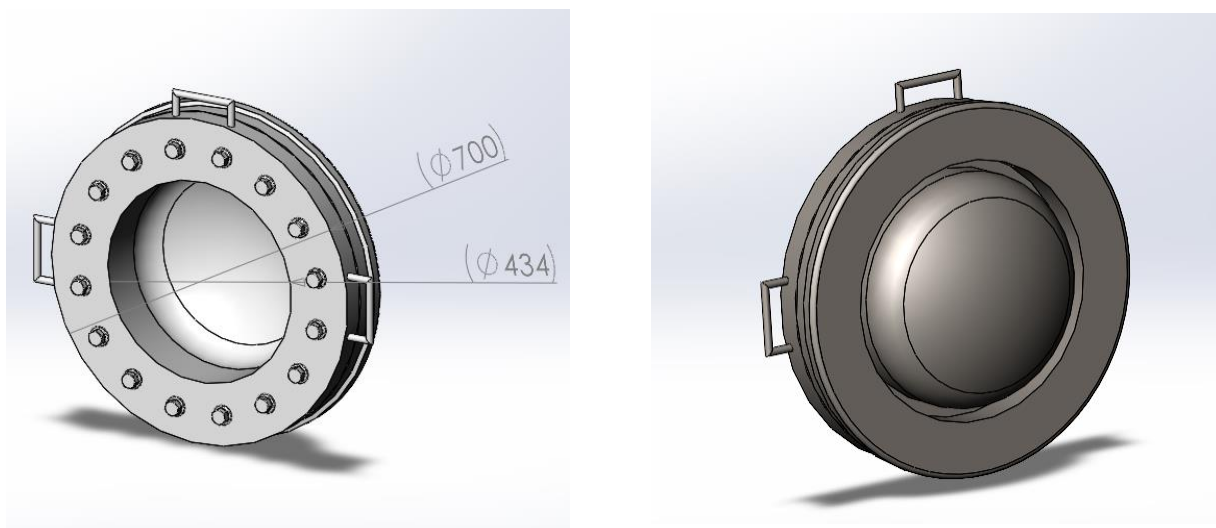


Figure 3-4 : trou d'homme

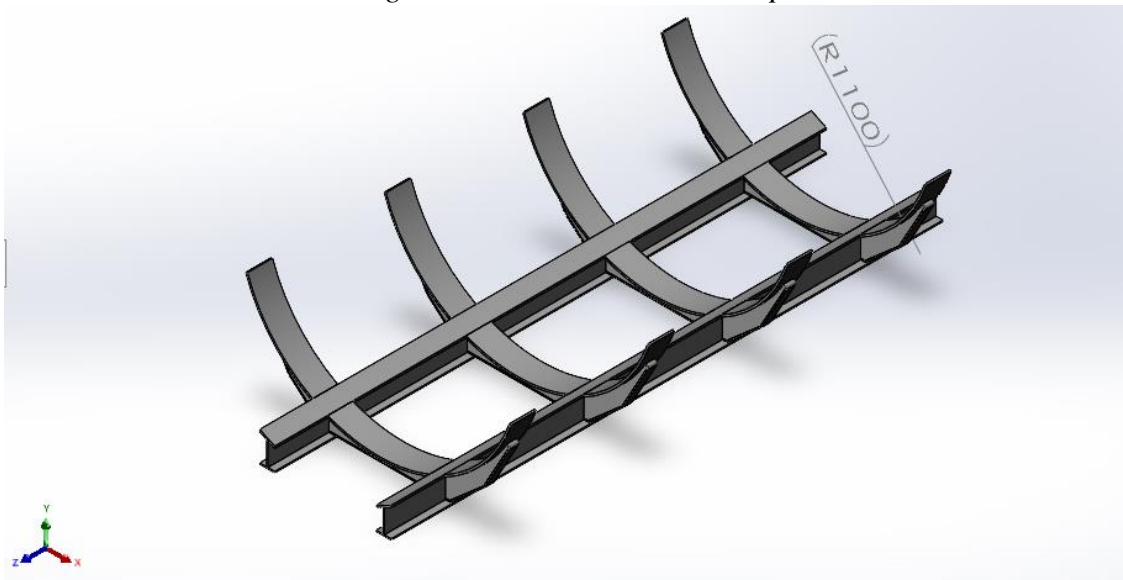
1.2.5. Les Berceaux :

- Les berceaux sont dessinés selon le plan fourni (Plan N7, N8). Il y a deux parties de berceaux distinctes : partie 1 (figure 3-5) contenant les berceaux partie attachés à la remorque, et partie 2 (figure 3-6) pour les berceaux attachés au camion.
- Ces berceaux sont composés de renforts longitudinaux et circonférentiels, et les distances entre chaque berceau sont justifiées par les positions des attaches de la remorque (pour la partie 1) et des attaches sur le camion (pour la partie 2). Le plan du châssis du camion est disponible dans l'annexe 2 (Plan N6).
- Le matériau utilisé est L'acier S355 J2

Partie 1 (Figure 3-5)

- La distance entre les berceaux dans cette partie est de 1100 mm.
- Le Premier Berceau sera placé à une distance de 400 mm du fond 2.
- Les berceaux sont dessinés selon le plan fourni (Plan N7, N8).

- *Figure 3-5 : Les berceaux de la partie 1*



Partie 2 (Figures 3-6 et 3-7)

- La distance entre les berceaux est de 300 mm.
- Le dernier berceau sera placé à une distance de 180 mm du fond 1.

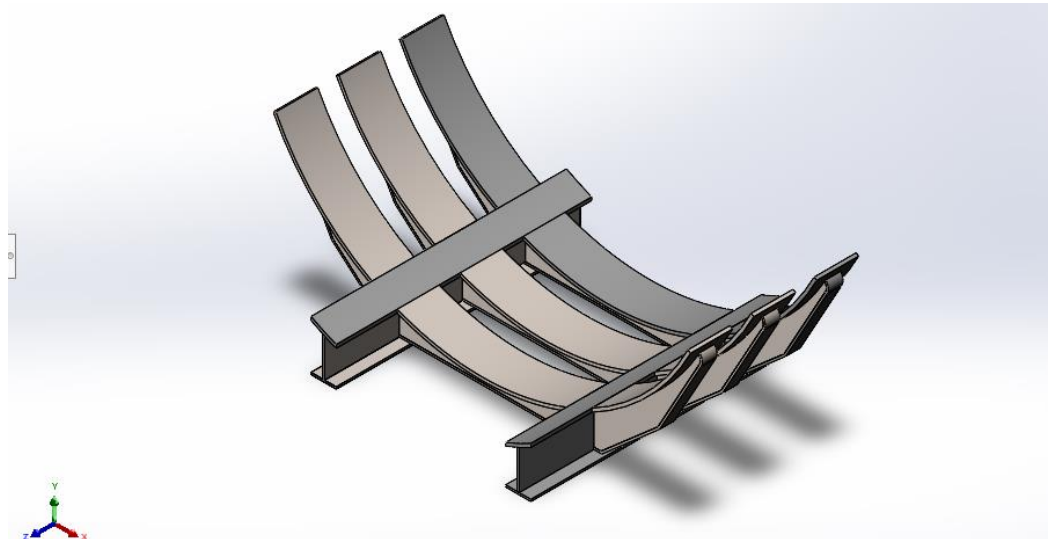


Figure 3-6: Les berceaux de la partie 2

Les tôles de la partie circconférentielle sont d'une épaisseur de 15 mm. L'angle de l'arc est de 136° pour les berceaux de la partie 1 et de 120° pour les berceaux de la partie 2 (plan 8N). Cette différence est justifiée par l'inclinaison de la citerne quand elle est stationnée ce qui applique plus de charge du côté des berceaux de la partie 1.

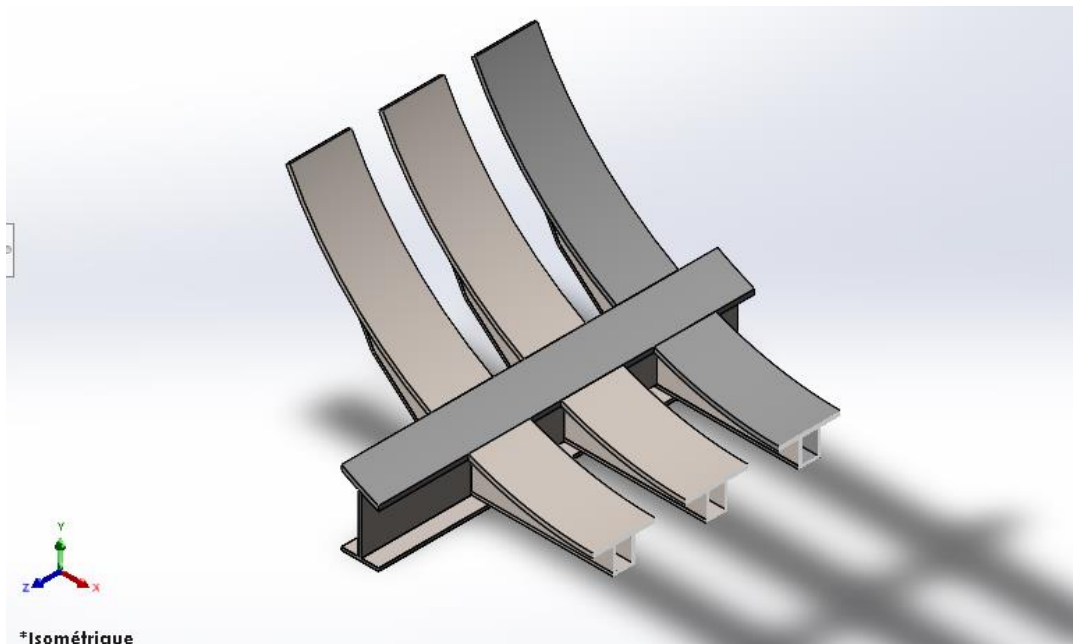


Figure 3-7 : vu de coupe des berceaux

1.2.6. Brise lames :

Les brises lames (figure 3-9) s'attachent à l'intérieure de la virole. Leur diamètre doit être égal au diamètre intérieur de la virole de 2176 mm. Les dimensions des brise lames sont fournies par le plan (Plan N4) dans l'annexe de CR-Metal .

Le matériau utilisé est l'acier S355 J2

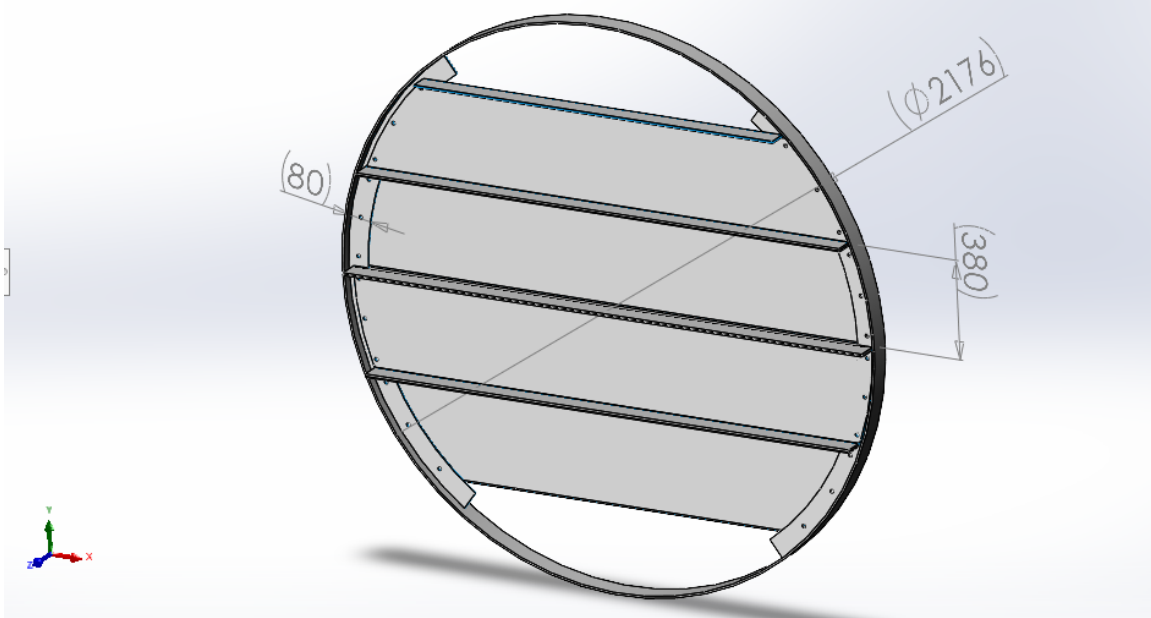


Figure 3-8 : Brise-lames

Les brises lames 1,2 et 4 (Figure 3-9) sont positionnés au niveau des berceaux. Le brise lames 3 est positionné au niveau du pied.

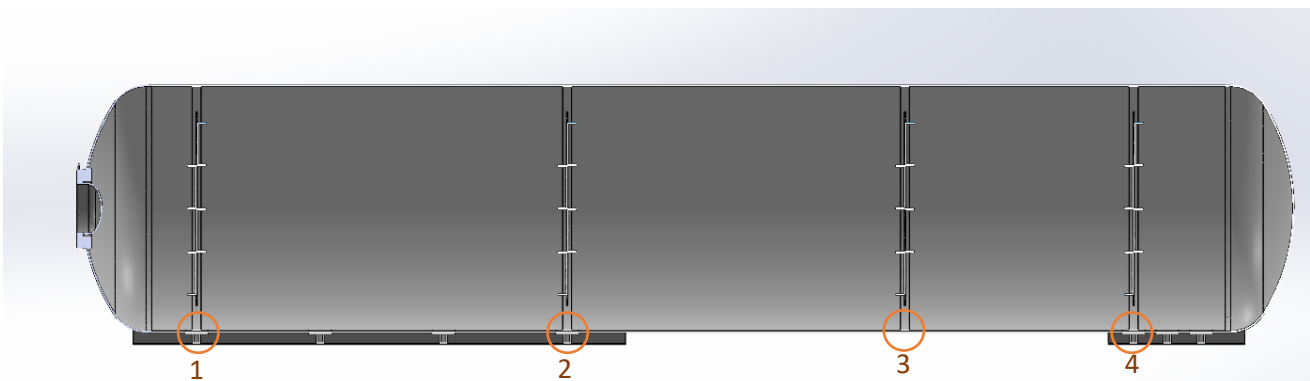


Figure 3-9 : emplacement des brise-lames dans la citerne

1.2.7. Structure complète (figures 3-10, 3-11) :

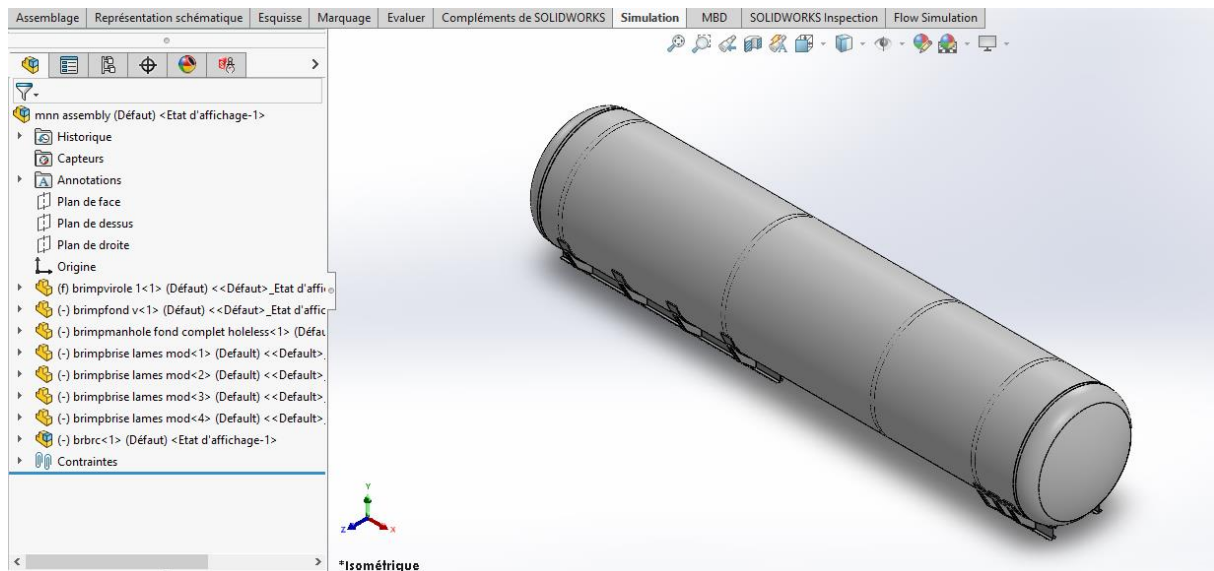


Figure 3-10 : vue isométrique de la citerne

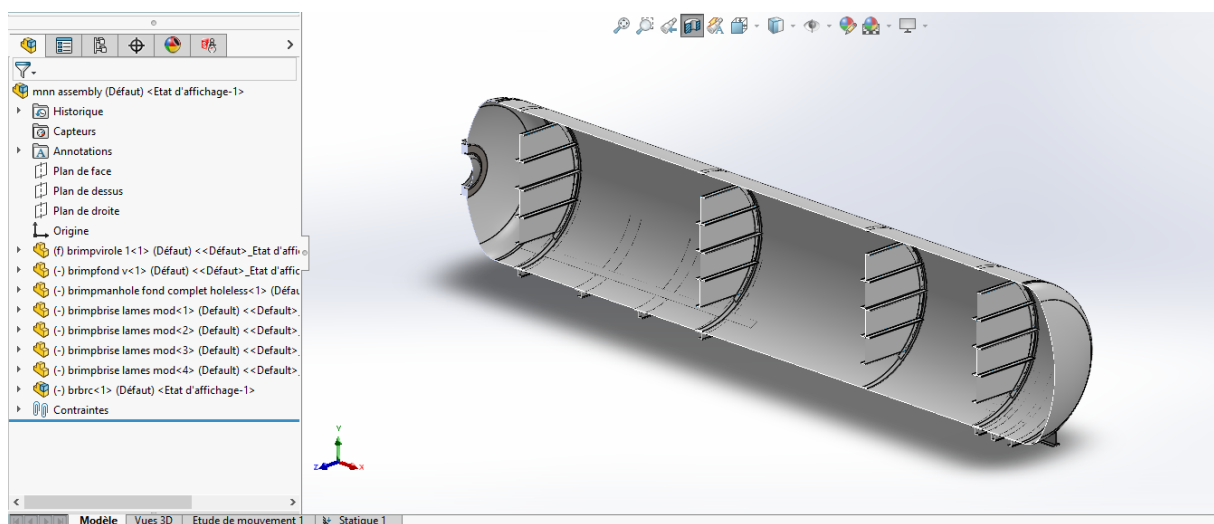


Figure 3-12 : vue de coupe de l'assemblage

1.3. Calcul par éléments finis :

1.3.1. Les Conditions aux limites :

1. Encastrement sur les pieds des berceaux :

Les supports des berceaux sont fixés sur la remorque d'un côté et sur le camion de l'autre.

Nous supposons que leurs surfaces inférieures sont encastrees (figure 3-12).

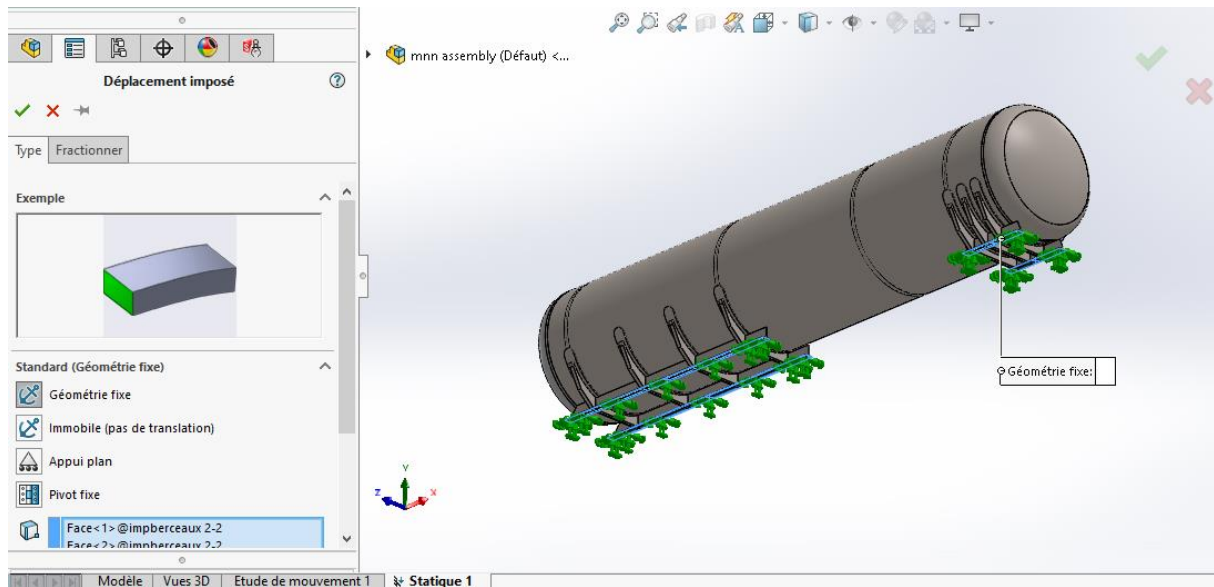


Figure 3-12 : Déplacement imposé

2. La gravité :

On sélectionne la direction de la gravité et entre la valeur $g=9.81 \text{ m/s}^2$ (figure 3-13).

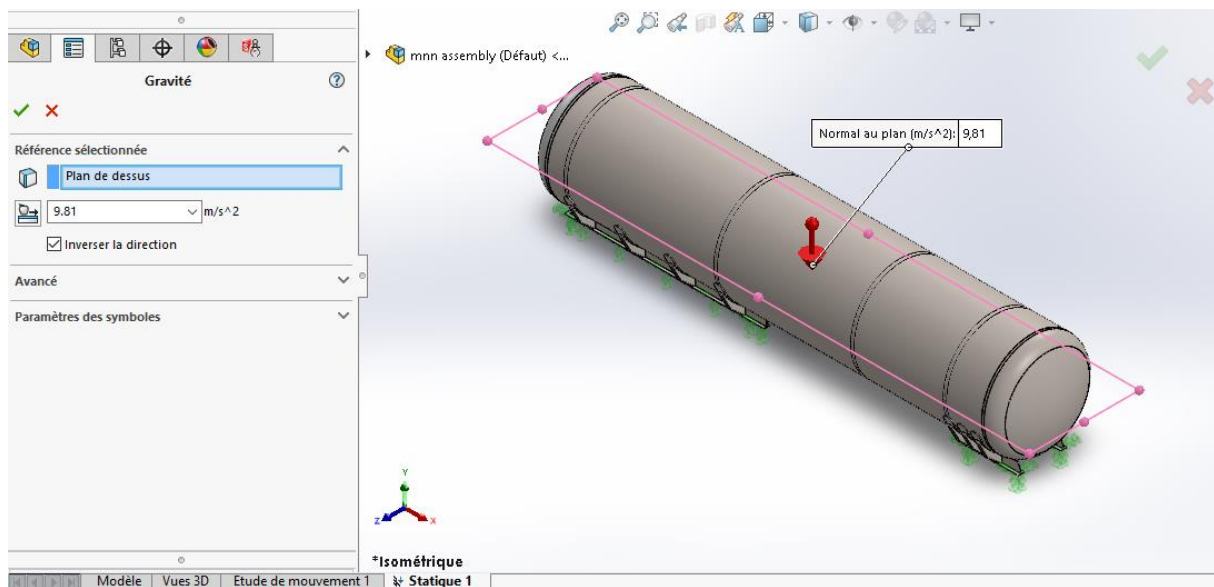


Figure 3-13 : Définir la direction de la gravité

3. La pression interne

On introduit une pression de 19.3 bars équivalente à 1.93 MPa sur toutes les faces internes de la citerne et des brise lames. (figure 3-14).

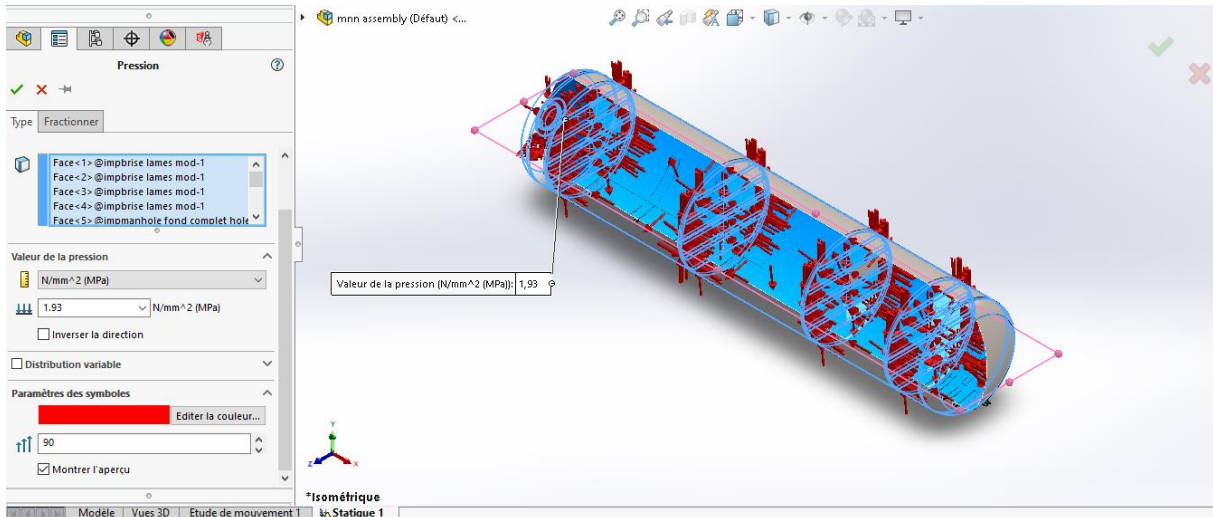


Figure 3-14 : Application de la pression interne

1.3.2. Le maillage :

Le maillage de la structure contient 21531 éléments de type mixte et 45534 nœuds (Figure 3-15 ; Tableau 3-2).

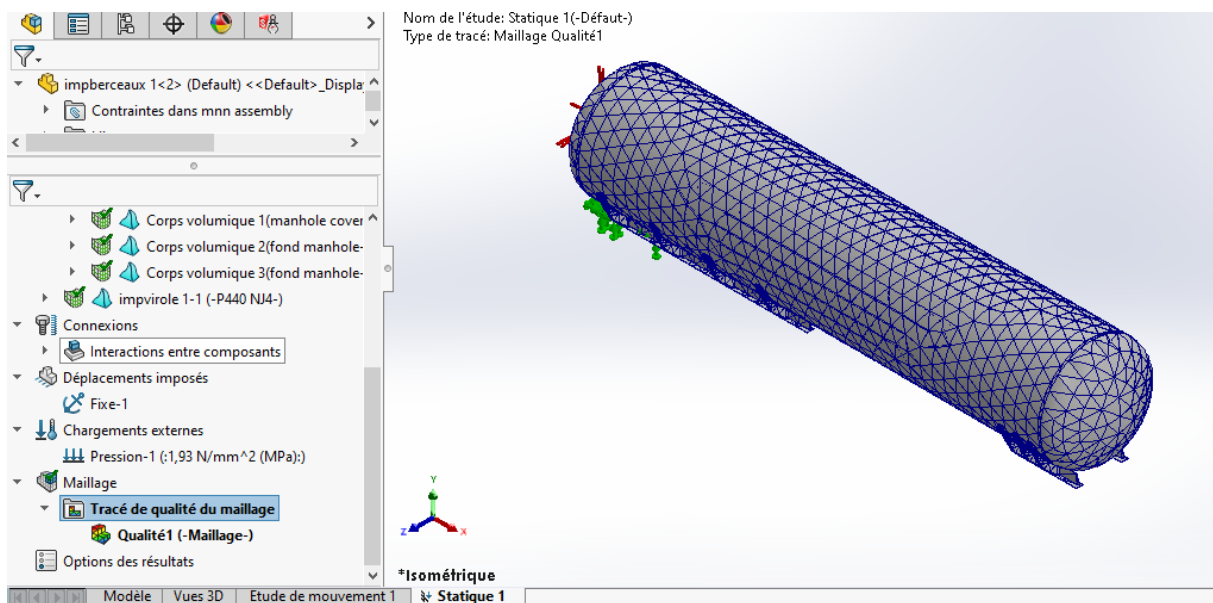


Figure 3-15 : Tracé de la qualité du Maillage

Tableau 3-2 – Détails du maillage

Type de maillage	Maillage mixte
Mailleur utilisé:	Maillage raccordé basé sur la courbure
Taille d'élément maximum	282,25 mm
Taille d'élément minimum	14,1125 mm
Nombre total de nœuds	45534
Nombre total d'éléments	21531

1.3.3. Résultats

Nous présentons ci-dessous les contraintes de Von-Mises ainsi que les déplacements résultants dans diverses parties de la structure. Le maximum de la contrainte de Von-Mises doit être inférieur à la limite élastique de chaque partie. De même, afin de vérifier l'hypothèse des petites perturbations, le maximum du déplacement résultant doit être négligeable devant les dimensions de la structure en entier.

Critère de Von Mises :

Dans l'analyse de résistance de la structure, nous utiliserons le critère de Von Mises (équation 3.1). Le critère de Von Mises est une méthode largement reconnue pour évaluer la capacité d'un matériau à résister à des contraintes complexes. En appliquant ce critère, nous serons en mesure de déterminer si le réservoir est capable de supporter les charges et les contraintes auxquelles il sera soumis dans des conditions réelles.

$$\sigma_{Vmax} \leq S, \quad (3.1)$$

Où σ_{Vmax} représente la contrainte équivalente maximale et S la contrainte admissible.

1.3.3.1. Déplacements résultants sur toute la structure (Figure 3-16)

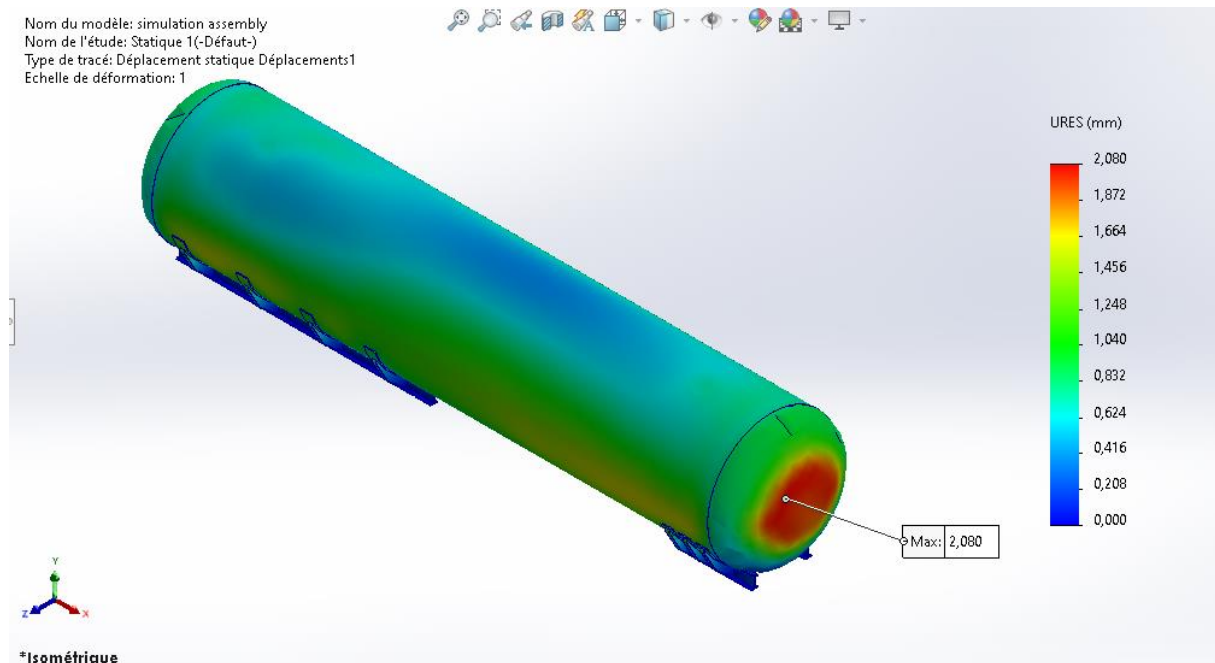


Figure 3-16 : Déplacements résultants dans toute la structure.

On observe que le déplacement maximal (2.08 mm) est négligeable devant les dimensions de la structure.

1.3.3.2. Contrainte de Von-Mises dans la virole et dans les fonds :

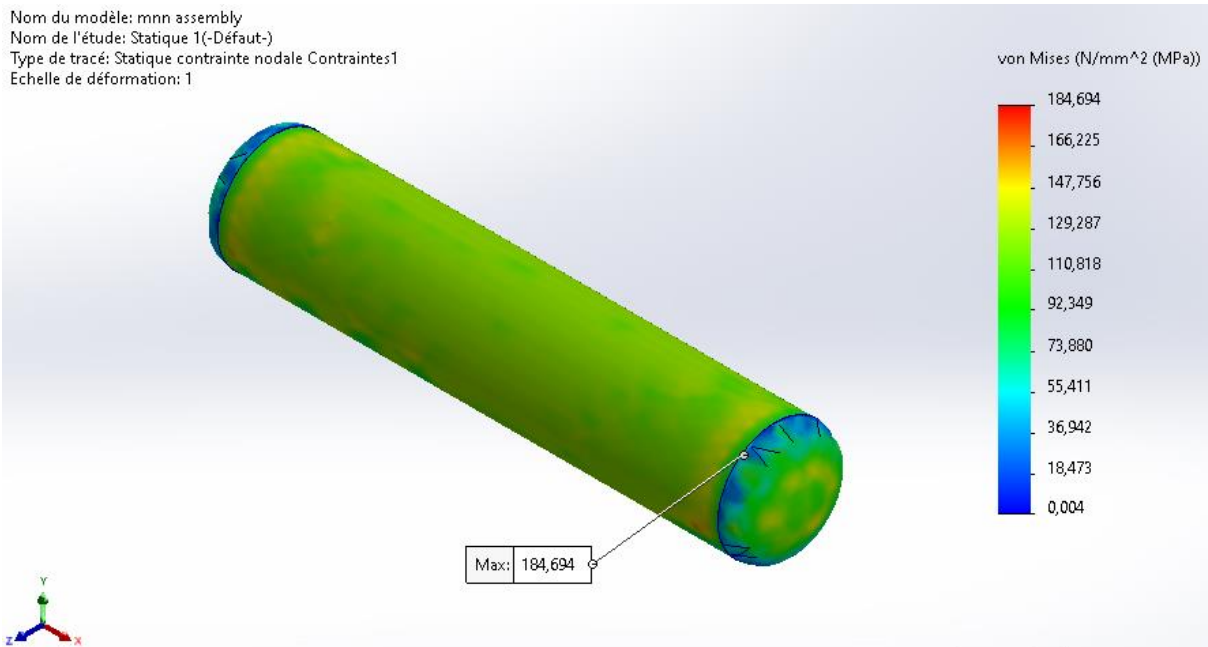


Figure 3-17 : Contraintes équivalente de Von-Mises dans la virole et les fonds

Nous constatons sur la Figure 3-16, que $\sigma_{Vmax} \approx 185 \text{ MPa}$. Elle est située au niveau de la jonction des fonds avec la virole. Cette valeur est inférieure à contrainte admissible $S = 190 \text{ MPa}$

$$\sigma_{max} \leq S$$

La résistance de la virole et des fonds est donc vérifiée.

1.3.3.3. Contrainte de Von-Mises dans la bride et le trou d'homme (figure 3 18) :

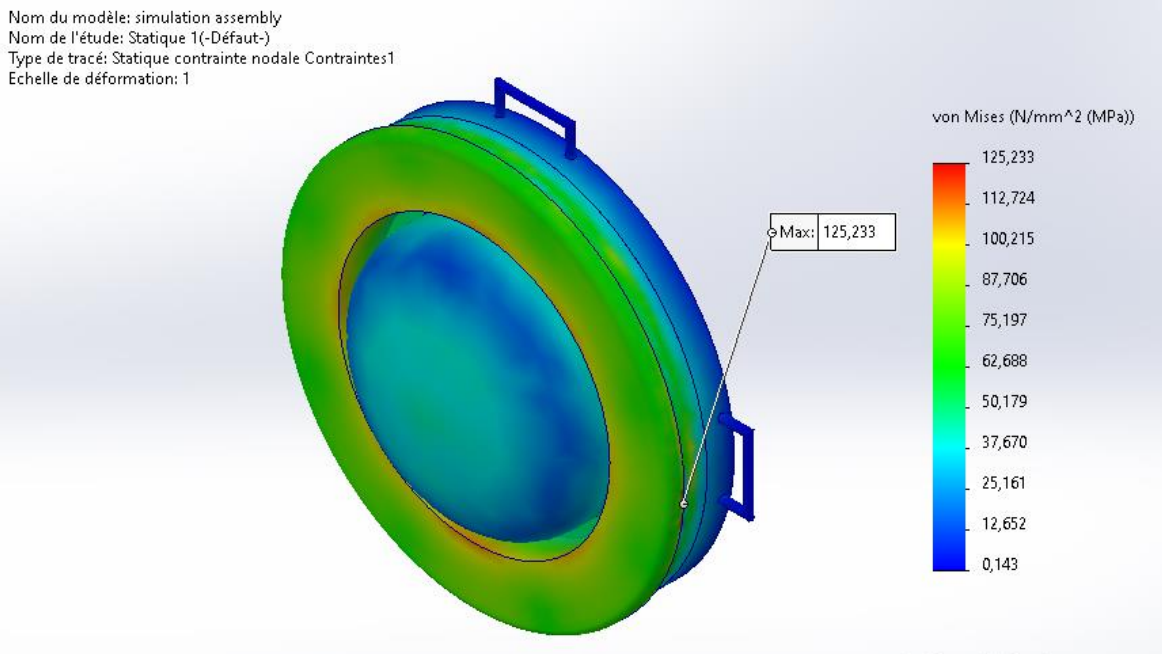


Figure 3-18 : Distribution de la Contrainte équivalentes de Von Mises dans la bride et trou d'homme

Le maximum de la contrainte de Von-Mises est 128 situé dans la partie intérieure du trou d'homme comme le montre la figure 3-18. Cette valeur est inférieure à la contrainte admissible $S=190$ MPa

$$\sigma_{max} \leq S$$

La résistance de la bride et trou d'homme est donc vérifiée.

1.3.3.4. Contraintes de Von-Mises dans les berceaux (figure 3-19) :

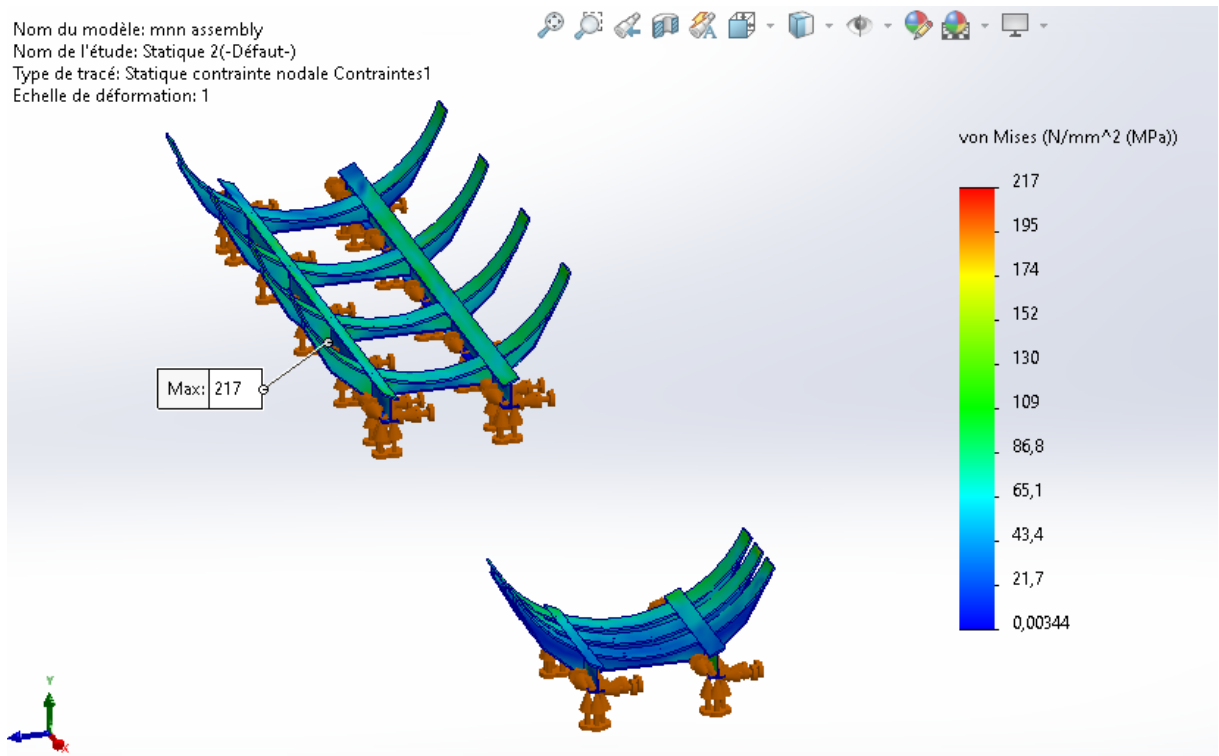


Figure 3-19 : Contraintes de Von-Mises dans les berceaux

La contrainte de Von mises maximale (217 MPa) est Largement inférieure à la limite élastique des berceaux (410 MPa). La résistance est donc vérifiée.

- **Contraintes de Von-Mises dans les berceaux de la partie 1** (Figure 3-20) :

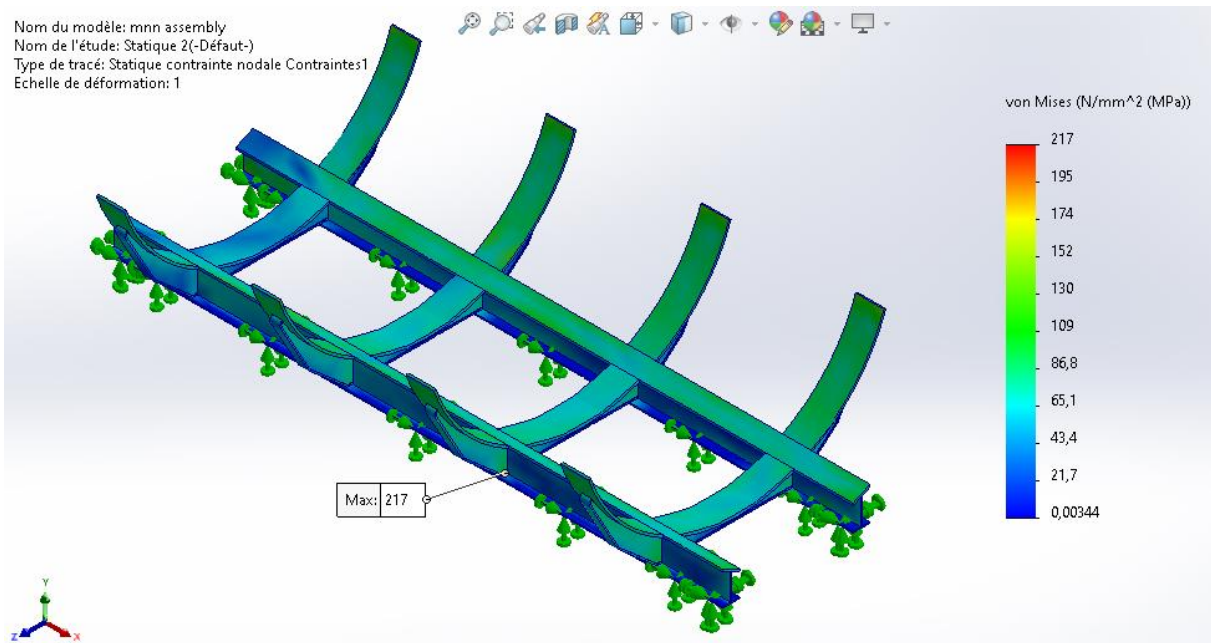


Figure 3-20 : Contraintes de Von-Mises dans les berceaux de la partie 1

On observe (Figure 3-21) que le maximum est situé sur la partie inférieure du support de la partie 1. Ceci est dû à la présence d'un point anguleux.

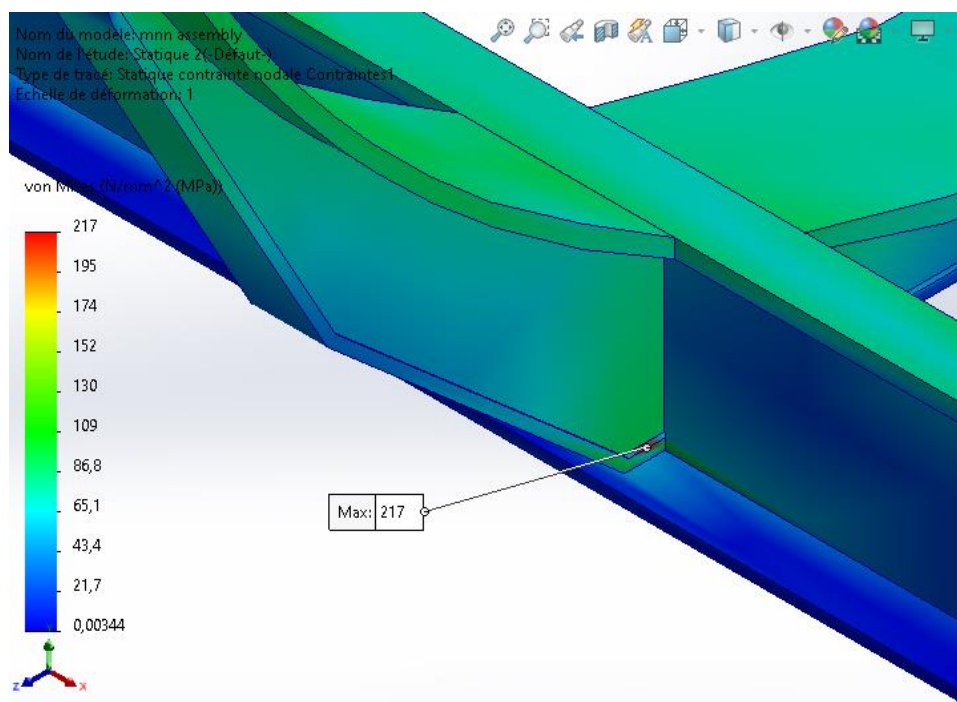


Figure 3-21 : Aperçu zoomé de la contrainte de Von-Mises maximale dans les berceaux de la partie 1.

Contraintes de Von-Mises dans les berceaux de la partie 2 (Figure 3-22) :

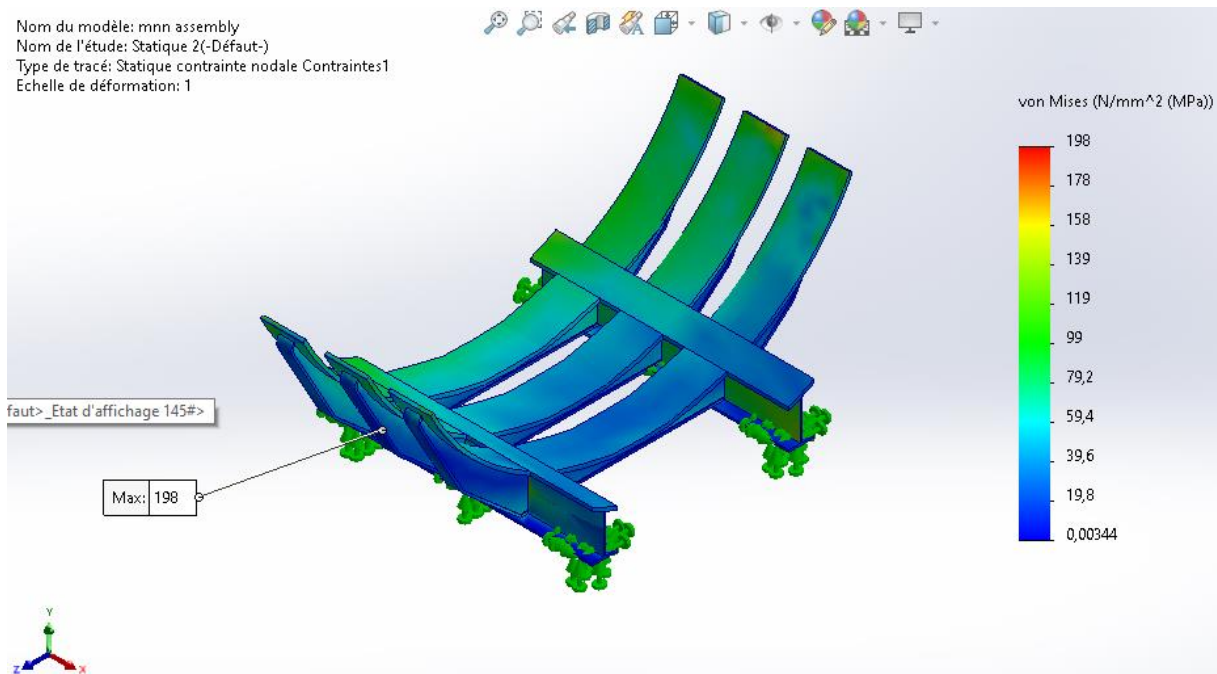


Figure 3-22 : Contraintes de Von-Mises dans les berceaux de la partie2.

1.4. Conclusion :

En conclusion, la simulation réalisée dans le cadre de cette étude s'est avérée fructueuse et a confirmé la résistance du réservoir face à la pression interne. En vérifiant que la contrainte maximale sur chaque élément est inférieure à la valeur admissible, il a été possible de confirmer la validité de la conception et la compatibilité des matériaux utilisés. De plus, la conception et les matériaux des supports maintenant le réservoir ont également été vérifiés, car la contrainte maximale sur ceux-ci était nettement inférieure à la limite élastique du matériau. Cette réussite atteste que les calculs et la conception sont adaptés à cette application spécifique.

Conclusion générale :

Ce mémoire est consacré à la conception et l'étude d'un réservoir de GPL d'une capacité de 38m³ sur camion. En mettant spécifiquement l'accent sur l'utilisation du matériau P440 au lieu du matériau couramment utilisé,

Le premier chapitre a fourni un aperçu complet des récipients sous pression et des camions-citernes GPL. Ce chapitre a posé les bases pour l'exploration ultérieure de la conception et de la simulation du réservoir de GPL.

Dans le deuxième chapitre, le mémoire a présenté la conception du réservoir de GPL, y compris les matériaux choisis et les calculs effectués selon le code ASME VIII, en utilisant le matériau P440NJ4. Les calculs préliminaires ont démontré la faisabilité et les avantages potentiels de l'utilisation de ce matériau alternatif. En particulier un gain en masse important.

Le troisième chapitre s'est concentré sur la modélisation du réservoir de GPL à l'aide de SolidWorks, en utilisant les données et les informations obtenues dans le chapitre précédent. Grâce à la simulation nous avons vérifié et confirmé la conception en évaluant les contraintes maximales de Von Mises. Les résultats de la simulation ont démontré que les niveaux de contrainte restaient inférieurs aux limites admissibles pour le réservoir et ses composants, ainsi que pour les berceaux.

En résumé, ce mémoire a présenté une étude complète de la résistance qui a permis de valider sa conception finale

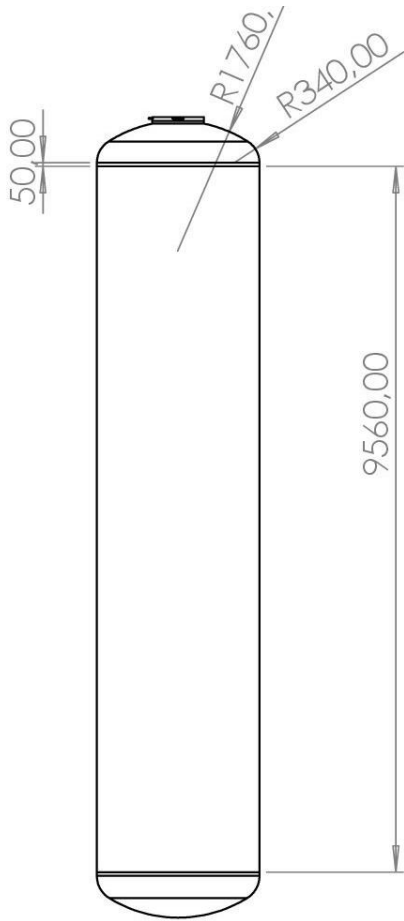
Références :

- [1] Régis CHAMAYOU, 10 oct. 1997, Réservoirs métalliques : stockage des liquides à température ambiante, <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-machines-hydrauliques-aerodynamiques-et-thermiques-tiabl/archive-1/reservoirs-metalliques-stockage-des-liquides-a-temperature-ambiante-bm6591/>
- [2] <https://www.iqsdirectory.com/articles/pressure-vessel>
- [3] A brief introduction to pressure vessels (2023) YENA Engineering.:<https://yenaengineering.nl/a-brief-introduction-to-pressure-vessels/>
- [4] <https://www.ehs.washington.edu/research-lab/pressure-vessels>
- [5] SachinThorat, Pressure Vessels – Parts, Design, Application, Types, Material, Diagram,<https://learnmech.com/pressure-vessel>
- [6] <https://www.pveng.com/home/asme-code-design/comparison-between-head-types-hemi-se-fd-and-flat/>
- [7] <https://forgedcomponents.com/what-different-types-pressure-vessels-applications>
- [8] Sanjay Kumar, Shyam Sundar Gupta, Arvind Kumar Singh,2019, An Experimental Design of Rectangular Pressure Vessel & Estimate Total Deformation and Equivalent Stresses using ANSYS, <https://www.irjet.net/archives/V6/i6/IRJET-V6I6747.pdf>
- [9] Stresses in pressure vessels - Ansys innovation courses.: <https://courses.ansys.com/index.php/courses/stresses-in-pressure-vessels/>
- [10] Pressure Vessels: Types, Design, Supports, Applications, Materials,<https://blog.thepipingmart.com/other/pressure-vessels-types-design-supports-applications-materials/>
- [11] Sigma Thermal (2022) ASME and pressure vessel design considerations for Thermal Fluid Systems, Sigma Thermal.: <https://www.sigmathermal.com/blog/asme-and-pressure-vessel-design-considerations-for-thermal-fluid-systems/>
- [12] Tan Wai Hong, janvier 2019, A critical review and analysis of pressure vessel structures https://www.researchgate.net/publication/330423928_A_critical_review_and_analysis_of_pressure_vessel_structures
- [13] Ken Arnold, Maurice Stewart, 2008, Surface Production Operations
- [14] PALA Group (2022) *Pressure Vessel Inspection & Testing Requirements*, PALA Group: <https://www.palagroup.com/pressure-vessel-inspection-testing-requirements>
- [15] Pressure Vessel Manufacturers | Pressure Vessel Suppliers.: <https://www.pressure-vessels.net/>
- [16] Temilade Ladokun, Farhad Nabhani, Sara Zarei, 2010, Accidents in Pressure Vessels: https://www.iaeng.org/publication/WCE2010/WCE2010_pp1120-1123.pdf

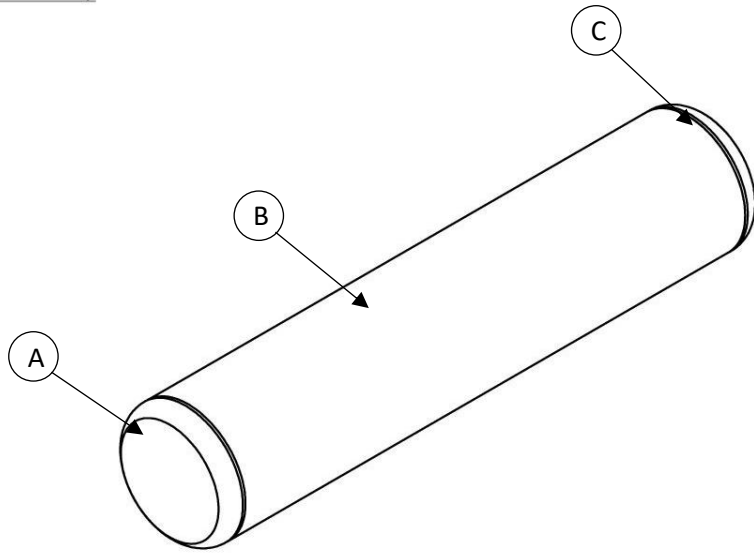
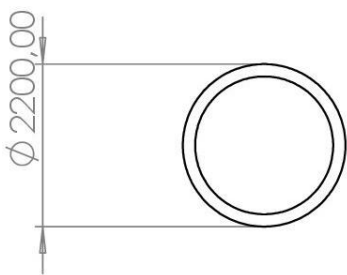
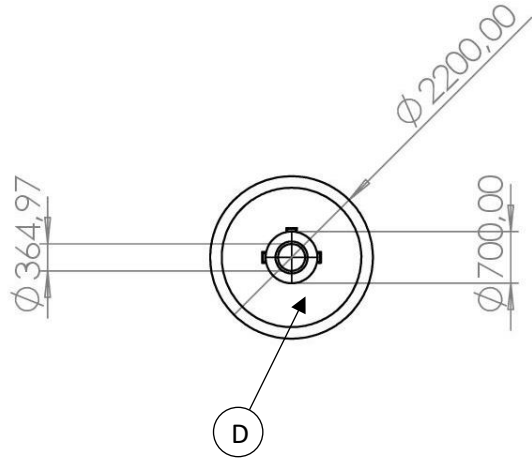
- [17] S., W. ASME boiler and Pressure Vessel Code, American Society of Mechanical Engineers - ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC):
https://www.wermac.org/societies/asme_bpvc.html
- [18] Vertical pressure vessel indiamart.com.: <https://www.indiamart.com/proddetail/vertical-pressure-vessel-14878767130.html>
- [19] Pressure vessels components, Atrin Sanat. (2018):
<https://atrinsanat.com/knowledge/pressure-vessels-components/>
- [20] Filtration, F. (2021) Custom pressure vessel: The Ultimate FAQ Guide, Filson Filter:
<https://www.filsonfilters.com/custom-pressure-vessel/>
- [21] Prediction of pressure vessel integrity - dillinger.
https://www.dillinger.de/imperia/md/content/dillinger/publikationen/kesselapparatebau/technischeliteratur/prediction_of_pressure_vessel_integrity.pdf
- [22] Baffles (2021) SafeRack.: <https://www.saferack.com/glossary/baffles/>
- [23] Accord Dangereux Routier, 30/09/57 ADR 2013 - Annexe A; 6.7.2.20
- [24] Tank Trailer Guide - Anstertrailer.com.: <https://www.anstertrailer.com/wp-content/uploads/2017/09/Tank-trailer-guide-book.pdf>
- [25] LPG product guide – cavagnagroup UK :https://cavagna.co.uk/wp-content/uploads/2020/06/LPG-Product-Guide-2019_A5_ENG_light.pdf
- [26] American Society of Mechanical engineers, ASME VIII div.1, 2010 edition
- [27] Tecnofondi S.p.A (2017), Catalogue générale fonds bombé, France
- [28] Elgas(2022), *LPG gas pressure - read important LPG facts at Elgas.*
<https://www.elgas.com.au/blog/1969-how-much-pressure-is-in-lpg-propane-cylinders-in-what-state/>
- [29] Anstertrailer (2018) LNG & LPG Tank Trailer Guide - Learn Tankers Specs & Design, LNG & LPG tank trailer guide : <https://www.anstertrailer.com/lng-lpg-tank-trailer-guide>
- [30] Dassault Systèmes SolidWorks Corporation,Introducingsolidworks.
https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_EN.pdf
- [31] BELLABIOD Aghiles, ETUDE ET CONCEPTION D'UNECITERNE HYDROCARBURE DE 16500LITRES A 3 COMPARTIMENTS SUR UNVEHICULE MERCEDES AROCS3342L, UNIVERSITE MOULOU MAMMERI TIZI-OUZOU
- [32] Tank with Spherical Ends Dimensional and Volume Data Calculator,Engineers Edge:
<https://www.engineersedge.com/calculators/fluids/propane-tank-dimensional-calculator.htm>

[33] ETCFunsafe / *Engineering Training Consulting*.
<https://www.etcfunsafe.com/downloads/PVI-STUDY-NOTES-ENGLISH-TRIAL.pdf>

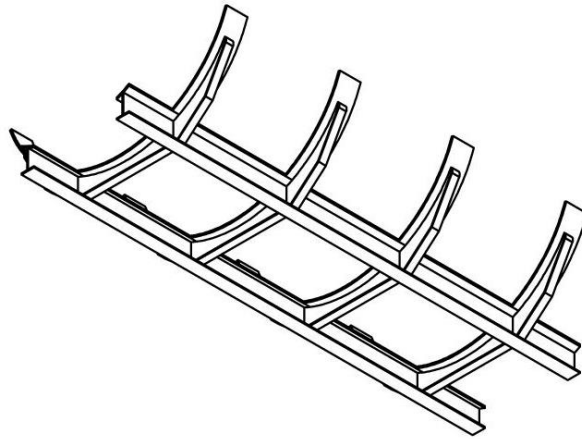
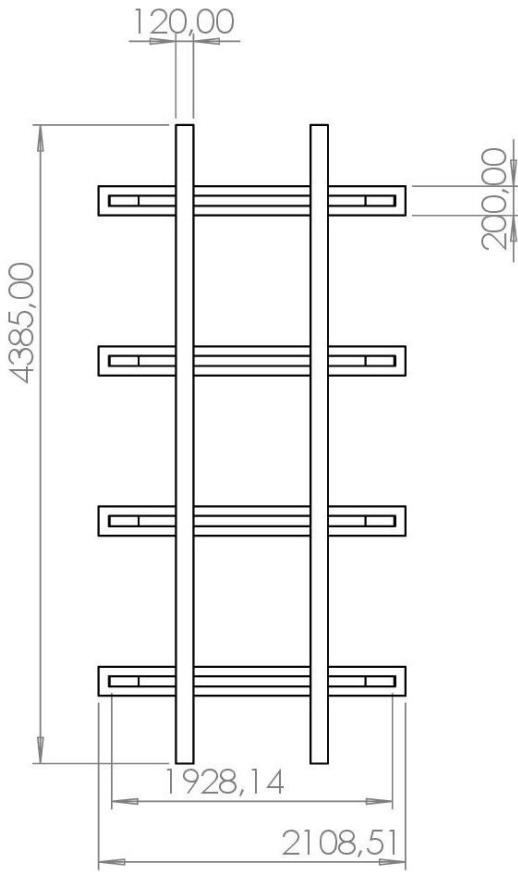
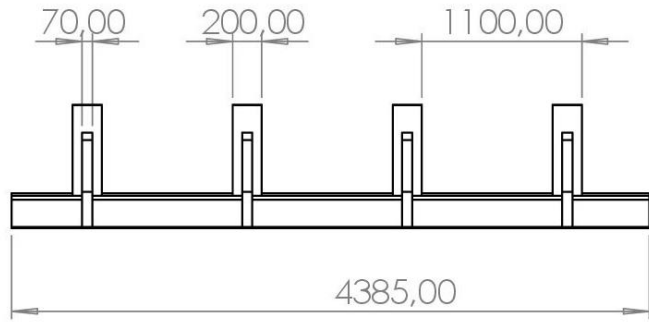
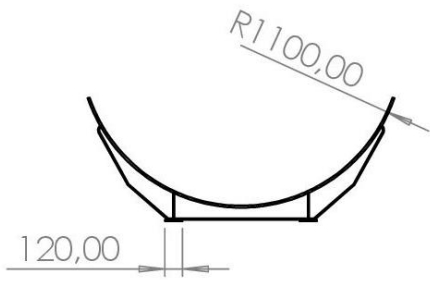
Annexe 1 :



Numéro	Composantes
A	Virole
B	Fond 1
C	Fond 2
D	Trou d'homme



UNVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA		Titre : CITERNE	
Nom : BENACHOUR Abderrahmane AID Mohamed	NO. De plan : 1 Echelle : 1 :100		A4 FEUILLE :1/1



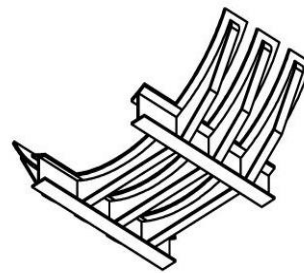
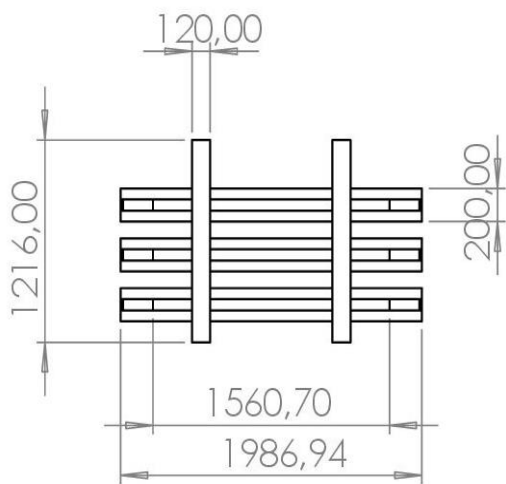
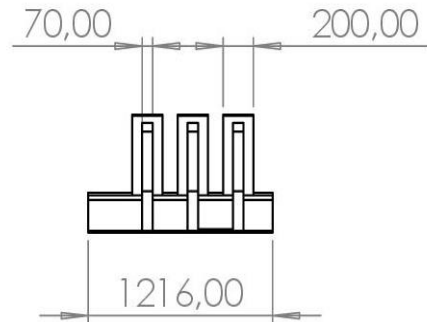
UNVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Titre : BERCEAUX 1

Nom :
BENACHOUR Abderrahmane
AIDS MOHAMED

NO. De plan : 2
Echelle : 1 :50

A4
FEUILLE :1/1



UNVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

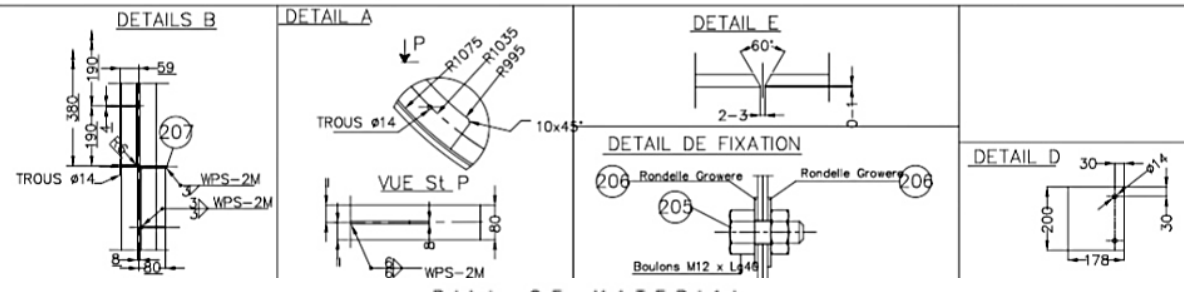
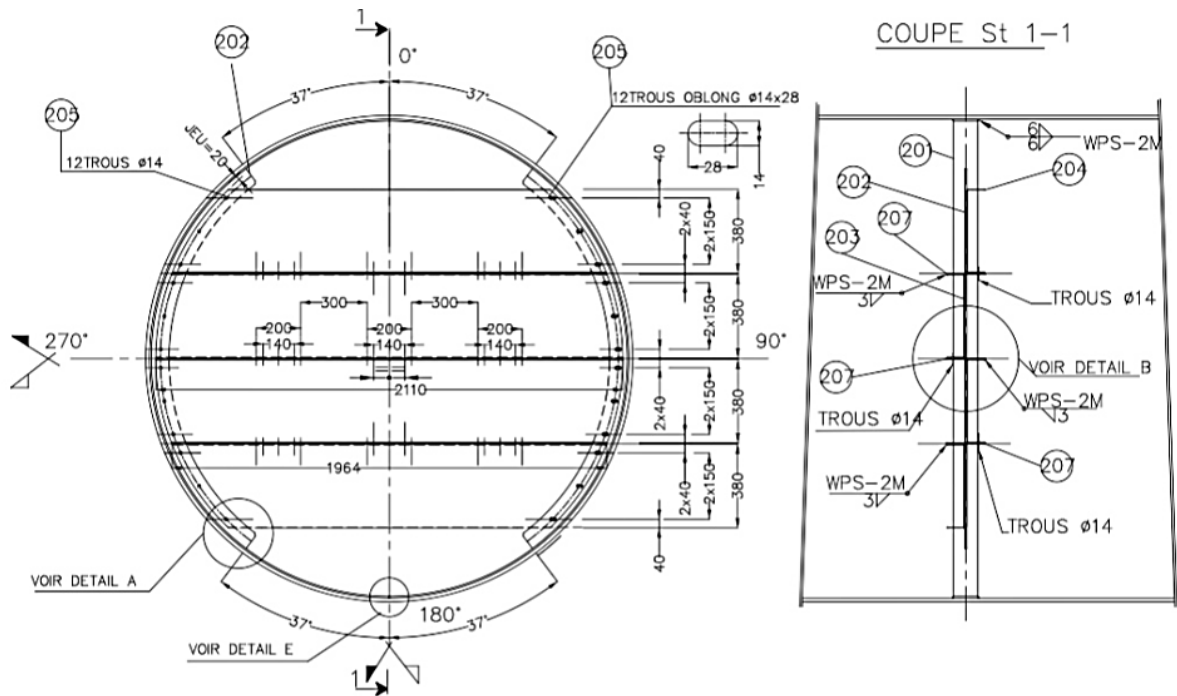
Titre : BERCEAUX 2

Nom :
BENACHOUR Abderrahmane
AID MOHAMED

Plan : 3
Echelle : 1 :50

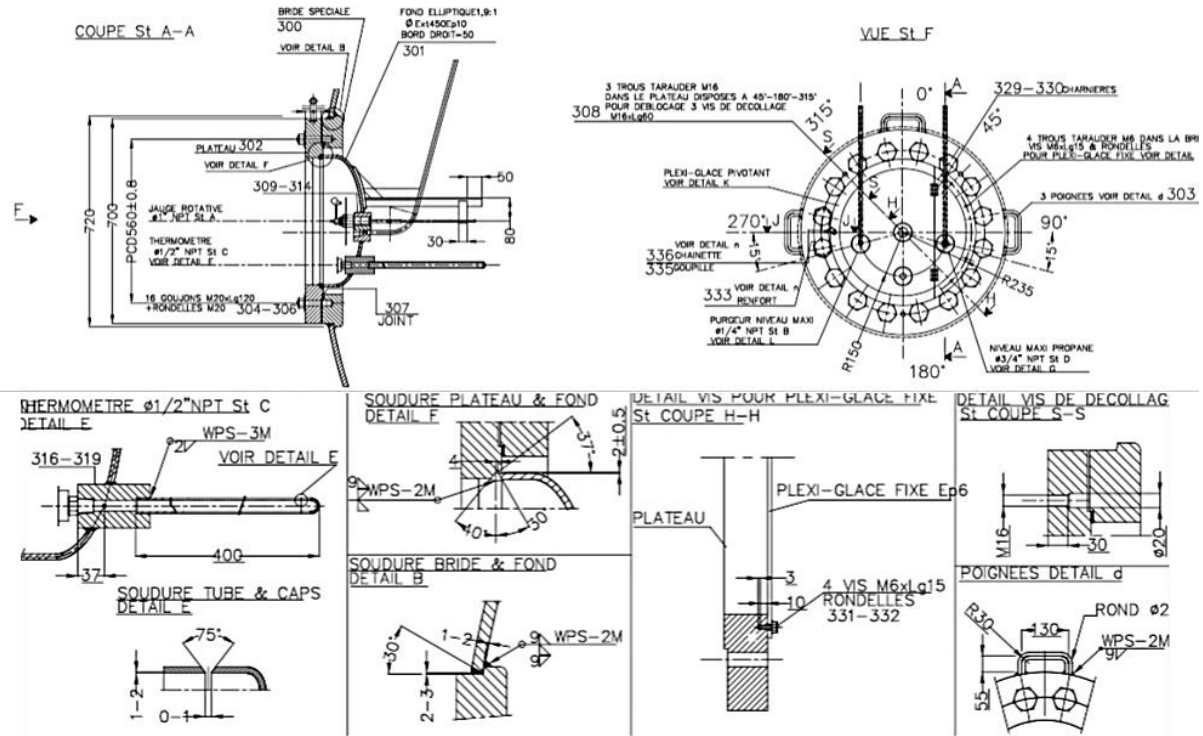
A4
FEUILLE :1/1

Annexe 2 :



BILL OF MATERIAL

REP	QTY.	DESIGNATION	MATERIAL	POIDS	
				UNIT.	TOTAL
201	2	RENFORTS Ep8x80xLg6780	A52FPR	34.06	68
202	4	ATTACHES Ep8x520xLg1760	A52FPR	57.58	230
203	4	ELEMENTS DE BRISE-LAME Ep8x540xLg2110	A52FPR	35.84	143
204	4	ELEMENTS DE BRISE-LAME Ep8x540xLg1964	A52FPR	33.36	133
205	84	M12xLg40	SA320-L7	0.064	2
206	168	RONDELLES GROWER pour Boulon M12	SA320-L7	0.064	2
207	18	SUPPORTS PLATS Ep4x178xLg200	A52FPR	1	18
				POIDS TOTAL=596Kgs	



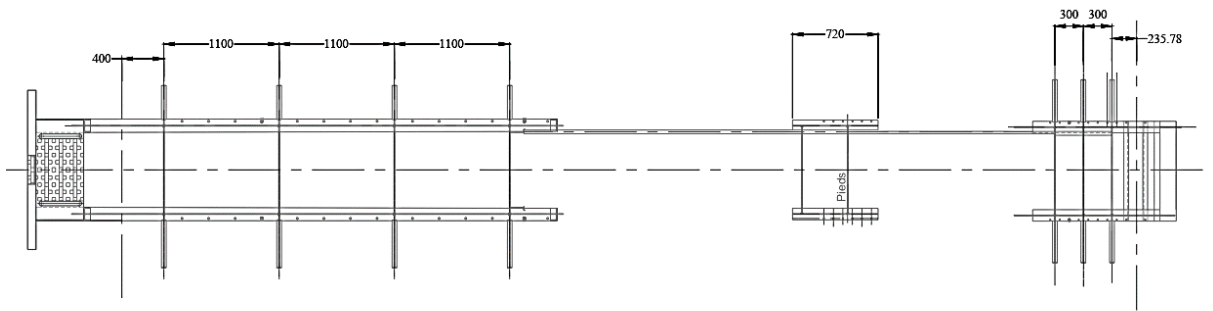
BILL OF MATERIAL

REP	QTY.	DESIGNATION	MATERIAL	POIDS	
				UNIT.	TOTAL
300	1	BRIDE SPECIALE ϕ Ext720/ ϕ Int500xEp70	SA350LF2	116	
301	1	FOND ELLIPTIQUE 1,9:1 ϕ Ext450xEp10,h1=50	A52 FPR	22.5	
302	1	PLATEAU ϕ Ext700/ ϕ Int434xEp55	SA350LF2	102	
303	3	POIGNEES ROUNDS ϕ 20xLg270	SA105	0.66	2
304	16	GOUJONS M20xLg120	SA320L7	0.29	5
305	16	RONDELLES PLATE pour ϕ M20	A.Cadmie	116	2
306	16	ECROUS M20	SA194-Gr4	0.08	1
307	1	JOINT ϕ Ext529/ ϕ Int499xEp3	KLINGERIT		
308	3	VIS DE DECOLLAGE M16xLg60	SA320L7	0.09	0.3
		REP A JAUGE ROTATIVE			
309	1	MANCHON ϕ 1" NPT ROND ϕ 60xLg57	SA350LF2	1.3	
310	1	RENFORT Ep8x80xLg150	SA52FPR	0.7	
311	1	RAIDISSEUR TOLE PLIEE 30x30xLg400xEp5	SA240-Tp-304L	0.9	
312	1	GOUSSET Ep5x30xLg100	SA240-Tp-304L	0.11	
313	1	SUPPORT TUBE Ep5x30xLg133	SA240-Tp-304L	0.15	
314	1	BOUCHON pour Essai Hydraulique ϕ 1" NPT	A.Carbon		
315	1	JAUGE ROTATIVE ϕ 1" type A9092 RS REGO	INOX		
		REP C THERMOMETRE obain de glycérine			
316	1	MANCHON ϕ 1/2" NPT ROND ϕ 60xLg100	SA350LF2	2.2	
317	1	TUBE ϕ 1/2" Ep2,7xLg372	SA333-Gr6	0.5	
318	1	CAPS ϕ 1/2" Sch STD	A420WPL6	0.03	
319	1	BOUCHON pour Essai Hydraulique ϕ 1/2" NPT	A.Carbon		
320	1	THERMOMETRE Prise Arrière ϕ 1/2" NPT Lg300 -50°C+70°C	INOX		

POIDS TOTAL = 262 Kgs

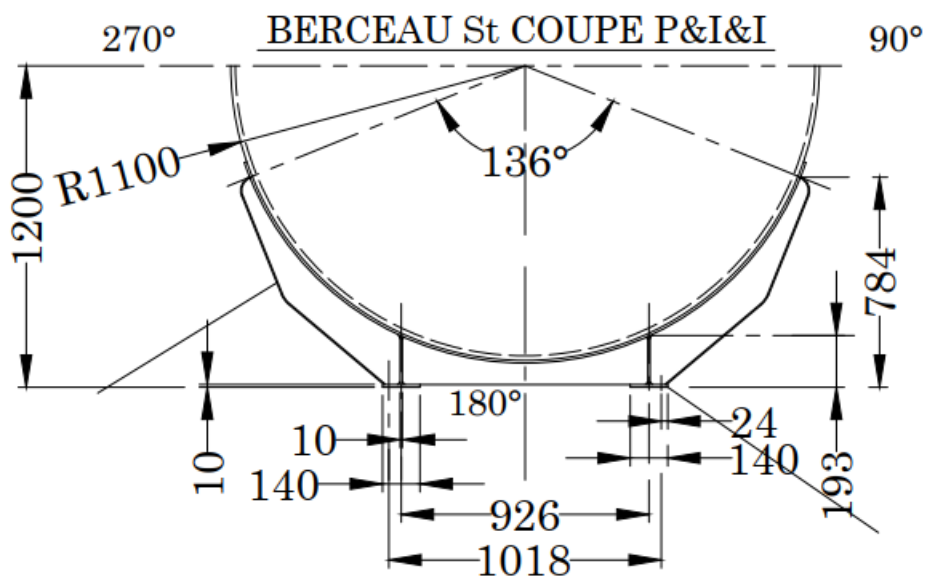
Plan N6 : châssis de la remorque et camion

CR-Metal



Plan N7 : Berceaux 1

CR-Metal



Plan N8 : Berceaux 2

