

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche
Scientifique
Université Ammar Tlidji Laghouat
Faculté technologie



Mémoire de fin d'études
Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
En Génie Mécanique
Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème
Conception et simulation numérique d'un
réservoir sous pression (GPL)

Présenté par :
BENYAMMI Brahim
SALEM Hammou Riad

Jury :

<i>M.Bourenane Hocine</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>
<i>M.Hamdi Nassereddine</i>	<i>MAA</i>	<i>Examineur</i>
<i>M.Mechraoui Ameer</i>	<i>MAA</i>	<i>Encadreur</i>

2022/2023

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail ;

Nos vifs remerciements sont destinés à Monsieur **Mechraoui Aneur**, notre promoteur, pour son aide, ces critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire ;

Nous remercions également **M. Hamdi Nassereddine** et **M. Khaled Abdessemed** pour leurs efforts.

Nous ne pouvons pas oublier de présenter notre gratitude à nos parents, sœurs et frères et amis pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour nous ;

Nous remercions également les membres de jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail ; Sans oublier, tous les enseignants de département génie mécanique ; Et tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant toute la période de faire ce travail ;

Enfin, un merci particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A mes chers parents ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs
encouragements.

A mes chers frères et sœurs et à toutes les familles

BENYAMMI et BOUKRAA

A mes oncles et tantes.

A mes amies et mes camarades.

et surtout mon binôme Hammou Riad et toute sa famille.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire,
du moyen, du secondaire ou de T'enseignement supérieur.

BENYAMMI Brahim

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents qui n'ont jamais cessé de
m'encourager, que Dieu les protège,

A mes très chers frères,

À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université ;

et surtout mon binôme Brahim et toute sa famille.

A tous ceux que j'aime, et tous ceux qui m'aiment, Je dédie
ce modeste travail.

SALEM Hammou Riad

SOMMAIRE

CHAPITRE I

Introduction générale :	1
I. 1 Réservoir Sous Pression :.....	3
I.1. 1 Définition	3
I.1. 2 Historique :.....	3
I.1. 3 Les Formes d'un récipient sous pression :.....	4
I.1. 4 Matériaux de construction :	5
I.1. 5 Caractéristiques de sécurité :	6
I. 1.4. 1 Fuite avant éclatement :	6
I. 1.4. 2 Soupapes de sécurité :.....	6
I.1. 6 Fermetures de récipients sous pression :.....	7
I.1. 7 Utilisations des récipients sous pression :.....	7
I. 2 Gaz de pétrole liquéfié :.....	8
I. 3 Certaines entreprises qui fabriquent un récipient sous pression	14

CHAPITRE II

II.1 Introduction	17
II.2 Les contraintes des réservoirs sous pression	17
II.2.1 Cylindres ouverts sous pression	17
II.2.2 Cylindres fermés sous pression.....	19
II.2.3 Sphères sous pression	20
II.2.4 Comparaison sphères vs cylindres	21
II.3 La conception de réservoir cylindrique sous pression GPL par la norme ASME ...	22
II.3.1 Calcul de l'épaisseur de réservoir	22
II.3.2 Calcul des dimensions de fond de réservoir	23

CHAPITRE III

III.1 Introduction sur SolidWorks	26
III.2 Caractéristiques de matériau utilisé	26
III.2.1 Propriétés mécaniques	27
III.2.2 Composition chimique	28
III.2.3 Caractéristique générale de réservoir GPL.....	29
III.3 Les dimensions du fond du réservoir utilisé	30
III.4 Conception par SolidWorks	30
III.4.1 Etapes de conception du virole.....	32
III.4.2 Etapes de conception du fond.....	34
III.4.3 Assemblage des pièces.....	34
III.4.4 La vanne.....	37
III.5 Simulation numérique par SolidWorks	37
III.5.1 Choix du matériau	37
III.5.2 Conditions aux limites aux déplacements	37
III.5.3 Conditions aux limites de chargement	38
III.5.4 Discrétisation en élément (maillage).....	38
III.5.5 Résolution	39
III.6 Résultats et interprétation	40

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Fig I.1: Un réservoir sous pression de 10 000 psi (69 MPa) de 1919 [1].....	4
Fig I.2: Réservoir de gaz sphérique [1].....	4
FigI.3: Réservoir sous pression cylindrique[1]	5
Fig I.4: Réservoir sous pression composite surenveloppé avec doublure en titane [1].	6
Fig I.5: Soupapes de sécurité utilisée pour les bouteilles de gaz [1][1].	7
Fig I.6: C4 H10[2]	12
FigI.7 : C3 H8[2]	12
Fig I.8: La demande nationale des GPL[2]	13
Fig I.9: Répartition de la demande du GPL[2]	13
FigI. 10 : L'American Société des ingénieurs mécaniciens (ASME) [9]	15

CHAPITRE II

FigII.11: Coupe longitudinale dans la section de cylindre et déplier [10].....	18
Fig II.12: La pression dans le bouchon de réservoir fermé [10].....	19
Fig II.13: Etat de contrainte représentée sur cercle de mohr [10]	20
Fig II.14: La pression représentée sur un coupe de cercle [10]	21
Fig II.15: Le cercle de mohr de sphère et cylindre [10]	22
Fig II.16: Le fond elliptique [11]	24

CHAPITRE III

Fig III.17: Le fond elliptique [11]	30
Fig III.18: Esquisse du virole.....	31
Fig III .19: Extrusion du virole	31
Fig III.20: Forme du virole	32
Fig III.21: Esquisse du fond.....	32
Fig III.22: Bossage du fond	33
Fig III.23: Forme du fond	33
Fig III.24 : Assemblage virole avec les fonds.....	34
Fig III.25 : Esquisse de vanne.....	34
Fig III.26 : Extrusion de la vanne	35
Fig III.27: Esquisse de vanne.....	35
Fig III.28: Bossage avec révolution.....	36
Fig III.29 : Réservoir sous pression.....	36

FigIII.30: Choix du matériau par SolidWorks	37
Fig III.31: Déplacement imposé	37
Fig III.33: Conditions aux limites de chargement	38
Fig III.35: Maillage du réservoir.....	38
Fig III.36: Résolution.....	39
Fig III.37: : Contraintes de Von-Mises (P=1.5MPa).....	40
Fig III.38: Déformation élastique (P=1.5MPa)	40
Fig III.39: Contraintes de Von-Mises (P=2.7MPa)	41
Fig III.40: Déformation élastique (P=2.7MPa)	41
Fig III.41: Contraintes de Von Mises (P=3MPa)	42
Fig III.42: Déformation élastique (P=3MPa)	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: La masse volumique et le point d'ébullition des GPL[2]	11
Tableau I.2: Consommation mondiale des GPL [2]	14
Tableau III.3: Propriétés mécaniques [12].....	27
Tableau III.4: Composition chimique [12]	28
Tableau III.5: Caractéristique générale de réservoir GPL [13]	29

Résumé:

Les réservoirs sous pression pour GPL (gaz de pétrole liquéfié) sont des dispositifs de stockage et de transport essentiels pour ce type de gaz. Ils sont conçus pour stocker en toute sécurité des volumes importants de GPL sous pression.

L'objectif de ce travail c'est l'étude par simulation numérique d'un réservoir sous pression destiné au stockage du GPL de véhicules.

Tout d'abord un travail de conception a été réalisé selon la norme (ASME) puis une simulation numérique par SolidWorks a permis d'étudier la résistance à travers la détermination des contraintes de Von-Mise et des déformation élastiques.

Les résultats obtenus par simulation numérique indiquent que la pression maximale que peut supporter un réservoir sous pression est d'environ 3MPa et que la zone dangereuse est localisée au niveau des joints de soudure. En comparant cette valeur obtenue par simulation ($P=3\text{Mpa}$) avec celle obtenue expérimentalement , on remarque que l'erreur ne dépasse pas 6% ce qui permet de confirmer que les résultats obtenus sont acceptables et que l'étude par simulation numérique a donné des résultats très satisfaisants.

Mots clés : SolidWorks, fond, virole, réservoir, GPL, vanne.

Abstract:

Pressure vessels for LPG (liquefied petroleum gas) are essential storage and transportation devices for this type of gas. They are designed to safely store large volumes of pressurized LPG.

The objective of this work is the study by numerical simulation of a pressure vessels intended for the storage of LPG vehicles.

First of all, a design work was carried out according to the standard (ASME) then a numerical simulation by SolidWorks made it possible to study the resistance through the determination of the Von-Mise stresses and the elastic deformations.

The results obtained by numerical simulation indicate that the maximum pressure that a pressure vessel can withstand is around 3MPa and that the danger zone is located at the weld joints. By comparing this value obtained using numerical simulation ($P=3\text{Mpa}$) with that obtained experimentally, we note that the error does not exceed 6% which makes it possible to confirm that the results obtained are acceptable and that the study by numerical simulation gave results very satisfying.

Keywords: solidworks, bottom, shell, vessels , LPG, valve

ملخص:

تعتبر أوعية الضغط الخاصة بـ GPL (غاز البترول المسال) أجهزة تخزين ونقل أساسية لهذا النوع من الغاز. وهي مصممة لتخزين كميات كبيرة من غاز البترول المسال المضغوط بأمان. الهدف من هذا العمل هو دراسة المحاكاة العددية لخزان الضغط المخصص لتخزين غاز البترول المسال للمركبات.

بادئ ذي بدء، تم تنفيذ أعمال التصميم وفقاً للمعيار (ASME)، ثم أتاحت محاكاة عددية بواسطة SolidWorks ودراسة المقاومة من خلال تحديد ضغوط Von-Mise والتشوهات المرنة. تشير النتائج التي تم الحصول عليها من خلال المحاكاة العددية إلى أن الحد الأقصى للضغط الذي يمكن أن يتحمله وعاء الضغط يبلغ حوالي 3 ميجا باسكال وأن منطقة الخطر تقع عند مفاصل اللحام. في هذه القيمة التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة ($P = 3\text{Mpa}$) مع تلك التي تم الحصول عليها تجريبياً، نلاحظ أن الخطأ لا يتجاوز 6% مما يجعل من الممكن التأكد من أن النتائج التي تم الحصول عليها مقبولة وأن الدراسة عن طريق المحاكاة العددية أعطت نتائج مرضية للغاية.

الكلمات المفتاحية: سوليدوركس ، قاع ، قشرة ، خزان ، غاز البترول المسال ، صمام.

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction générale

Introduction générale :

Un réservoir sous pression GPL, également connu sous le nom de réservoir de gaz propane liquéfié, est un dispositif utilisé pour stocker et transporter du GPL de manière sûre et efficace. Le GPL est un mélange de gaz principalement composé de propane et de butane, qui est utilisé comme source d'énergie dans de nombreux domaines, tels que le chauffage, la cuisson et les véhicules.

Les réservoirs sous pression GPL sont conçus pour résister à la pression élevée du gaz liquéfié et sont fabriqués à partir de matériaux résistants tels que l'acier. Ils sont également dotés de dispositifs de sécurité, tels que des soupapes de décharge de pression, pour éviter toute surpression et garantir la sécurité de l'utilisateur.

Ces réservoirs sont disponibles dans différentes tailles et capacités, en fonction des besoins spécifiques de l'utilisateur. Ils peuvent être utilisés pour le stockage à domicile, dans les installations industrielles ou commerciales, ainsi que dans les véhicules fonctionnant au GPL.

L'utilisation d'un réservoir sous pression GPL présente de nombreux avantages. Tout d'abord, il permet une utilisation plus efficace du GPL, car il maintient le gaz à une pression constante, ce qui facilite son utilisation et sa combustion. De plus, il offre une solution de stockage sûre, car il est conçu pour résister aux conditions environnementales et aux chocs mécaniques.

En conclusion, les réservoirs sous pression GPL sont des dispositifs essentiels pour le stockage et le transport du GPL. Ils offrent une solution sûre et efficace pour l'utilisation de cette source d'énergie polyvalente. Que ce soit pour un usage domestique, industriel ou automobile, les réservoirs sous pression GPL sont un choix fiable et pratique.

CHAPITRE I

Etude Bibliographique Sur
Les Réservoir Sous Pression
(G.P.L)

Introduction :

Ce chapitre nous présente une définition d'un réservoir sous pression, ses formes, les types de matériaux à partir desquels il a été fabriqué et le but de son utilisation.

Il nous présente également l'histoire du gaz liquéfié en général, ses propriétés et sa formule chimique.

Et à la fin, il parle de certaines entreprises conçues pour les récipients sous pression.

I. 1 Réservoir Sous Pression :

I.1.1 Définition

Un réservoir sous pression est un réservoir conçu pour contenir des gaz ou des liquides à une pression sensiblement différente de la pression ambiante. Les méthodes et les matériaux de construction peuvent être choisis en fonction de l'application de pression et dépendent de la taille du récipient, du contenu, de la pression de service, des contraintes de masse et du nombre d'articles requis. Les appareils sous pression peuvent être dangereux et sont réglementés par des autorités d'ingénierie soutenues par la législation. La conception implique des paramètres telles que la pression et la température de fonctionnement maximales sûres, le facteur de sécurité, la tolérance de corrosion et la température minimale de conception. La construction est testée à l'aide d'essais non destructifs, telles que les tests par ultrasons, la radiographie et les tests de pression. Les essais hydrostatiques.

I.1.2 Historique :

La première conception documentée de réservoir sous pression a été décrite en 1495 dans le livre de Léonard de Vinci, le Codex Madrid I. Les navires ressemblant à ceux utilisés aujourd'hui ne sont apparus que dans les années 1800, lorsque la vapeur a été générée dans des chaudières contribuant à stimuler la révolution industrielle. Il y a eu un grand nombre d'explosions dommageables et souvent mortelles associées à ces chaudières et récipients sous pression, avec un décès survenant presque quotidiennement aux États-Unis. Le premier code des récipients sous pression a été élaboré à partir de 1911 et publié en 1914, commençant le code ASME Boiler and Pressure Vessel Code



Fig. I.1:Un réservoir sous pression de 10 000 psi (69 MPa) de 1919 [1].

(BPVC). Un réservoir de 6 pouces (150 mm) de diamètre a été développé en 1919 qui a été enroulé en spirale avec deux couches de fil d'acier.

Le besoin de récipients à haute pression et à haute température pour les raffineries de pétrole et les usines chimiques a donné naissance à des récipients joints avec soudage, qui sont aujourd'hui le principal moyen d'assembler des récipients métalliques. Il y a eu progrès dans le domaine de l'ingénierie des récipients sous pression, tels que l'examen non destructif avancé, les essais ultrasonores multiéléments et la radiographie, des nouvelles qualités de matériaux avec une résistance accrue à la corrosion et des matériaux plus résistants, et des nouvelles façons d'assembler des matériaux. Les navires aux États-Unis exigent l'estampillage BPVC, mais il existe d'autres codes officiels dans certains pays. Les dangers potentiels inhérents aux appareils sous pression et la nécessité de normes et codes régissant leur conception.

I.1.3 Les Formes d'un récipient sous pression :

Les récipients sous pression sont généralement formés de sections de sphères, cylindres et cônes. Une conception commune est un cylindre avec des embouts appelés têtes. Les formes plus compliquées sont toujours plus difficiles à analyser et construire.



Fig I.2: Réservoir de gaz sphérique [1]

Un réservoir sous pression sphérique est la forme idéale pour maintenir la pression interne. Cependant, une forme sphérique est difficile à fabriquer et plus coûteuse, So la plupart des récipients sous pression sont cylindriques avec têtes semi-elliptiques 2: 1 ou embouts à chaque extrémité. Les récipients sous pression plus petits sont assemblés à partir d'un tuyau et de deux couvercles. Un inconvénient de ces récipients est que les grands diamètres sont plus chers, de sorte que la forme la plus économique d'un récipient sous pression de 1 000 litres (35 pieds cubes) peut être un diamètre de 91,44 centimètres (36 po) et une longueur de 1,7018 mètres (67 po).



Fig1.3: Réservoir sous pression cylindrique [1]

1.1. 4 Matériaux de construction :

Réservoir sous pression sont souvent en acier, mais certaines propriétés mécaniques de l'acier peuvent être affectées par le soudage. Les normes actuelles imposent l'utilisation d'acier à haute résistance aux chocs, en particulier pour les navires utilisés à basse température. Dans les applications où l'acier au carbone souffre de corrosion, un matériau spécial résistant à la corrosion devrait également être utilisé. Certains récipients sous pression sont faits de matériaux composites, tels que le composite enroulé par filament utilisant de la fibre de carbone maintenue en place avec un polymère. Le matériau

composite peut être enroulé autour d'une doublure métallique, formant un récipient sous pression composite surenveloppe.



Fig I.4: Réservoir sous pression composite surenveloppé avec doublure en titane [1].

Les réservoirs sous pression peuvent être revêtus de métaux, céramiques ou polymères pour empêcher les fuites et protéger la structure du récipient du milieu contenu. Le câblage, enroulé autour du récipient ou à l'intérieur de la paroi ou du récipient lui-même, fournit la tension nécessaire pour résister à la pression interne. Une membrane mince en acier étanche tapisse la paroi interne du récipient. Ces navires peuvent être assemblés à partir de pièces modulaires.

I.1.5 Caractéristiques de sécurité :

I. 1.4. 1 Fuite avant éclatement :

La fuite avant éclatement est un réservoir sous pression conçue pour qu'une fissure dans le récipient se développe à travers la paroi, permettant au fluide contenu de s'échapper et réduire la pression.

I. 1.4. 2 Soupapes de sécurité :

Le réservoir sous pression est conçu pour une pression, et il y a une soupape de sécurité ou de décharge pour garantir cette pression.



Fig I.5: Soupapes de sécurité utilisée pour les bouteilles de gaz [1]

I.1.6 Fermetures de récipients sous pression :

Les fermetures de réservoir sous pression sont des structures de rétention conçus pour fournir un accès rapide aux pipelines, récipients sous pression, pièges à racleurs, filtres et systèmes de filtration. Un trou d'accès couramment utilisé est elliptique et est maintenue par une barre à l'extérieur fixée par un boulon central. La pression interne empêche l'ouverture par inadvertance sous charge.

I.1.7 Utilisations des récipients sous pression :

Les réservoirs sous pression sont utilisés dans une variété de applications dans l'industrie et le secteur privé, comme les récepteurs d'air comprimé industriels, les chaudières et les ballons d'eau chaude sanitaire, les bouteilles de plongée, les chambres de recompressions, les tours de distillation, les réacteurs sous pression, les autoclaves et d'autres navires dans les opérations minières, les raffineries de pétrole et les usines pétrochimiques, les cuves de réacteurs nucléaires, les habitats de sous-marins et des vaisseaux spatiaux.

I. 2 Gaz de pétrole liquéfié :

I.2.1 Historique des GPL :

C'est au cours de processus de croissance du marché des produits pétroliers qu'un ingénieur de la Riverside Oil Compagnie en Virgin (20^{ème} Siècle) a découvert les gaz de pétrole liquéfier (GPL).

Le 24 décembre 1910, H. STUKEMAN réussit pour la première fois à obtenir les 658 premières litres de GPL liquide. Cet ingénieur avait entrepris ses travaux sous l'impulsion de son directeur générale, A.N. Kerr, qui dirigeait la raffinerie. Ce dernier se trouvait depuis un certain temps confronté au problème de l'évaporation des essences minérales (extraites de gaz naturel associé aux gisements de pétrole) qui étaient stockées dans ces bac à ciel ouvert. Pour limiter ses pertes, il eut l'idée de la vapeur et d'essayer de les décondenser ; ainsi étaient nés le gaz de pétrole liquéfier (GPL).

C'est en 1912 que fut expérimentée la première installation domestique au GPL. Dans la même année, la carburation automobile fit ses premiers pas. Le pré-développement de cette invention prit cependant une dizaine d'années. En 1922, les statistiques officielles font état de 417 tonnes de GPL vendues dans l'ensemble des États-Unis. Les compagnies pétrolières commencent à s'intéresser au GPL et le commercialisent dès 1927. L'impulsion est alors donnée en 1930, vingt ans après leur découverte, la consommation de GPL aux États-Unis atteignant 32200 TONNES.

Pour l'Europe, c'est en France que débutera le GPL en 1932, en usage domestique. En revanche, le GPL carburant n'y a été autorisé qu'en 1979.[3]

En Algérie, suite à une phase d'études d'expérimentation entamée en 1977, la décision d'introduire le GPL carburant « SIRGHAZ » est intervenue en 1983 avec l'adoption de la bicarburant et la mise en place de la réglementation liée aux conditions d'utilisation et de distribution de GPL. [4]

I.2.2 Généralités sur le GPL :

GPL est l'abréviation de gaz de pétrole liquéfié. Lorsqu'il est utilisé comme carburant pour des véhicules. Le GPL est un mélange d'hydrocarbures butane et propane.

On obtient alors des GPL butane et propane à l'état liquide sont tous les deux des gaz à température ambiante normale et à la pression atmosphérique mais sous une pression moyenne ils deviennent liquides. Ceci permet un transport et un stockage faciles du GPL sous sa forme liquide concentrée.

Le GPL provient du raffinage du pétrole brut (40%) ou est extrait du gaz naturel ou du pétrole brut provenant de gisements souterrains (60%). Le GPL sous sa forme pure est inodore mais est rendu odorant pour aider à la détection des fuites. Le gaz est légèrement plus lourd que l'air et s'introduira dans les points bas et cavités en cas de fuite. Lorsqu'on supprime la pression le GPL se dilate et 1 litre de liquide génère 250 litres de vapeur.

Le GPL sous sa forme liquide augmente de volume de 2% par 10 degrés d'augmentation de la température (°C). Pour cette raison, les réservoirs de GPL ne doivent jamais être remplis à plus de 85%.

Si le GPL doit servir de carburant pour véhicule, le butane et le propane sont mélangés dans des proportions optimales pour obtenir une combustion complète du produit. Le GPL donne moins de pollution due aux gaz d'échappement. Peut souvent être beaucoup plus économique que les autres carburants (essence...etc.) et ses performances sont comparables à celles de l'essence et du diesel.

Le GPL est légèrement moins sujet à l'inflammation que l'essence. Environ entre 2% et 9% de vapeurs de GPL dans l'air créent une atmosphère inflammable. Un déversement de GPL liquide s'évaporerait rapidement mais en contact avec la peau il peut provoquer des brûlures froides. [5]

I.2.3 Origine du GPL :

Le GPL est extrait à partir de diverses sources qui peuvent être :

- de la récupération à partir de la liquéfaction des gaz associés (gaz devient liquide).
- comme sous-produit à partir des unités de liquéfaction du gaz naturel GNL.
- du pétrole brut après raffinage comme sous-produit. de la récupération à partir des champs gaziers. [6]

I.2.4 Caractéristique du GPL :[6]

I.2.4.1 Données de combustion :

- **Pouvoir calorifiques du GPL :**

Les GPL ont un pouvoir calorifique élevé et constant. Le butane offre un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 12,66 kWh par kg, le propane un PCI de 12,78 kWh par kg.

Si l'on considère leur pouvoir calorifique supérieur (PCS), le butane et le propane affichent respectivement 13,7 kWh et 13,8 kWh par kg.

- **Température de fusion :**

- Butane : -138°C
- Propane : -188°C

- **Densité :** Dans l'état gazeux il est plus lourd que l'air : La densité du propane est de 0.51 et celle du butane est de 0.58.

- **Dilatation :** à l'état liquide, il a un coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage, car les sphères ne doivent jamais être remplies complètement.

- **Tension de vapeur :** Soumis à des températures supérieures à leur point d'ébullition, le propane et le butane ne peuvent être amenés à l'état liquide sous pression ou par réfrigération. Le GPL à une tension de vapeur à 20 °C égale à :

- Pour le butane : 2 bars.
- Pour le propane : 8 bars.

- **Température d'ébullition :** A la pression atmosphérique, la température d'ébullition du butane est de -0.6 °C et celle du propane est de -40 °C.

- **Impuretés :** Le GPL produit au niveau des différents champs doit répondre aux spécifications suivantes :

- Teneur en gaz sec inférieure ou égale à 3 % mol.
- Teneur en condensât inférieure ou égale à 0.4 % mol.

- **Odeur et couleur :** Le GPL est incolore, soit à l'état vapeur ou liquide et pratiquement inodore. Pour des raisons de sécurité un odorant doit être ajouté pour la détection des fuites. Cet odorant est à base de sulfures appelés Mercaptans.

- **Toxicité** : Le GPL s'enflamme dans l'air, il émet un gaz considéré comme toxique. Le gaz en question dénommé le monoxyde de carbone est formé suite à une combustion.

I.2.4.2 Point d'ébullition et la masse volumique :

La masse volumique et le point d'ébullition sont représentés dans le Tableau 1 ;

	Point d'ébullition (°C)	Masse volumique du liquide (Kg/m ³) à 15 °C	Masse volumique du gaz (Kg/m ³) à 15 °C
Butane :	0	585	2,50
Propane :	-42	515	1,85

Tableau I.1: La masse volumique et le point d'ébullition des GPL [2]

- 1 litres du butane liquide libéré 239 litres de gaz (15°C 1 bar)
- 1 litres du propane liquide libéré 311 litres de gaz (15°C 1 bar)

Ces caractéristiques physiques confèrent à cette énergie un avantage indéniable du point de vue du stockage et du transport.

I.2.4.3 Formule chimique du GPL (propane, Butane) :[7]

Les gaz butane et propane sont des hydrocarbures saturés dont les molécules sont composées d'hydrogène et de carbone ;

- **Butane** : molécule de butane est composé de 4 atomes de carbone et de 10 atomes d'hydrogène.

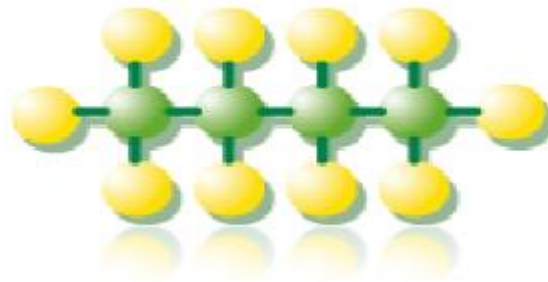
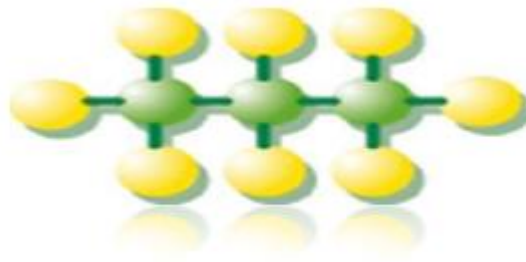


Fig I.6: C4 H10 [2]

Propane : molécule de propane est composé de 3 atomes de carbone et de 8 atomes d'hydrogène.



FigI.7 : C3 H8 [2]

I.2.5 Demande nationale des GPL :

Le niveau de la demande nationale des GPL est de l'ordre 1.4 millions de tonnes dont 90% du butane, 5 %du propane et 5 %des GPL carburant. [8]

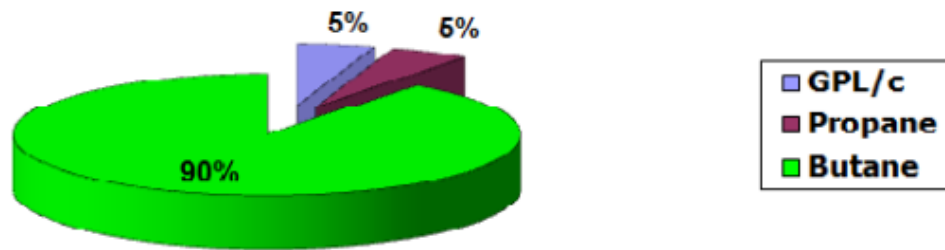


Fig I.8: La demande nationale des GPL [2]

I.2.6 Consommation mondiale de GPL :

La consommation mondiale de GPL a augmenté de 50 % entre 1980 et 1981 alors que celle du pétrole restait quasiment stable pendant cette période. [8]

En 2002, la consommation totale de pétrole de gaz pétrole liquéfié est de 134.6 Mt, alors qu'elle a été en 1970 de 69 Mt.

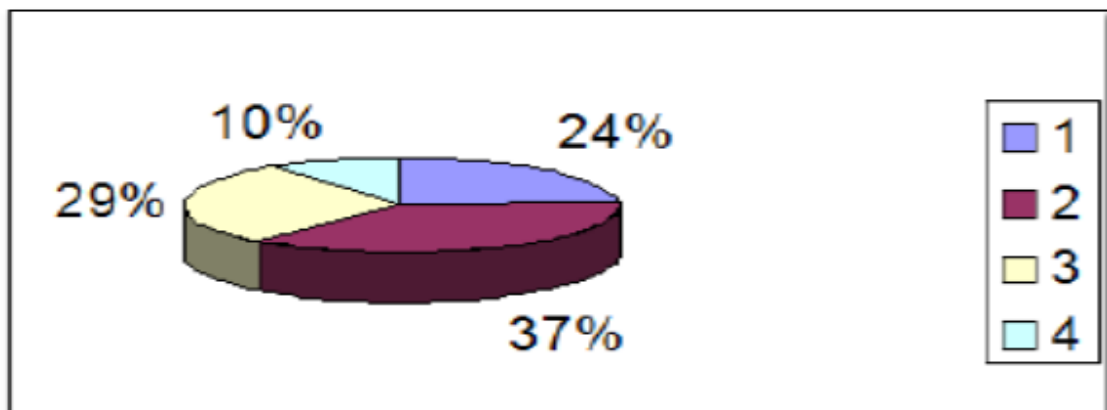


Fig I.9: Répartition de la demande du GPL [2]

Pays	Consommation (Mt)	Pays	Consommation (Mt)
U.S.A	41.000	Espagne	2.327
Japon	18.900	Russie	8.600
Italie	3.430	Algérie	3.600
Grande Bretagne	2.750	Australie	1.400
Allemagne	2.677	Chine	2.300
France	2.655	Inde	2.000
Hollande	2.5	-	-

Tableau I.2: Consommation mondiale des GPL [2]

I. 3 Certaines entreprises qui fabriquent un récipient sous pression

I.3.1. Société Américaine des Ingénieurs en Mécanique (ASME) :

L'American Society of Mechanical Engineers (ASME) est une association professionnelle américaine travaillant sur la science et la pratique de l'ingénierie multidisciplinaire et des sciences connexes dans le monde entier. L'ASME a été fondée en 1880 par Alexander Lyman Holley, Henry Rossiter Worthington, John Edison Sweet et Matthias N. Forney en réponse à des pannes de chaudières à vapeur sous pression. L'ASME mène l'une des plus grandes opérations de publication technique au monde, organise de nombreuses conférences techniques et centaines de cours de développement

professionnel chaque année et parraine de nombreux programmes de sensibilisation et d'éducation. Blake R Van Leer, présidente de Georgia Tech et partisane des femmes ingénieures, était membre de la direction. Kate Gleason et Lydia Weld ont été les deux premières femmes membres.



FigI. 10 : L'American Société des ingénieurs mécaniciens (ASME) [9]

Il existe également d'autres entreprises pour concevoir des réservoirs sous pression tels que : CODAP, ASME, ASTM, API.

Conclusion :

Une fois que nous connaissons la définition d'un réservoir sous pression et ses types, nous prenons un récipient cylindrique pour étudier ses dimensions et ses limites dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II

Dimensionnement et
calcul d'un réservoir
sous pression
cylindrique (GPL)

Introduction :

Un réservoir sous pression est un récipient conçu pour contenir des gaz ou des liquides à une pression sensiblement différente de la pression ambiante.

Les dimensions des réservoirs sous pression sont dimensionnées et calculées selon plusieurs normes telles que ASME, ASTM, API, CODAP Le dimensionnement est effectué en suivant les caractéristiques du récipient comme la pression, la température, les restrictions de volume

Il existe deux types de réservoir sous pression, réservoir à paroi mince et réservoir à paroi épaisse.

La différence entre les deux types de réservoir

- $\frac{D}{t} \geq 20$

→ donc c'est un Réservoir cylindrique à paroi mince

- $\frac{D}{t} \leq 20$

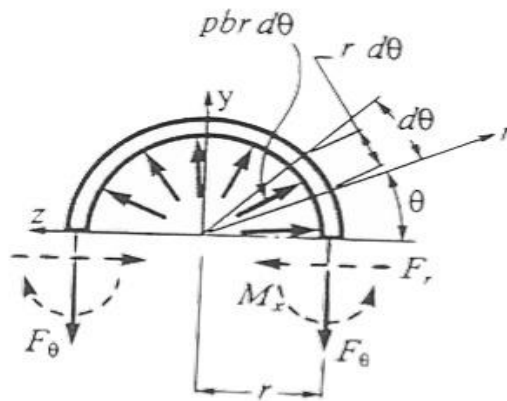
→ donc c'est un Réservoir cylindrique à paroi épaisse

D : diamètre extérieur du tube.

t : Épaisseur de paroi de conception minimale.

II.1 Les constraints des réservoirs sous pression : [10]

II.2.1 Cylindres ouverts sous pression :



FigII.11 : Plan de coupe longitudinal de cylindre [10]

- **Contraintes :**

Force radiale :

$$F_r = p b (r d\theta) \quad (\text{Eq. II - 1})$$

Composante verticale :

$$F_Y (\theta) = F_r \cdot \sin \theta \quad (\text{Eq. II - 2})$$

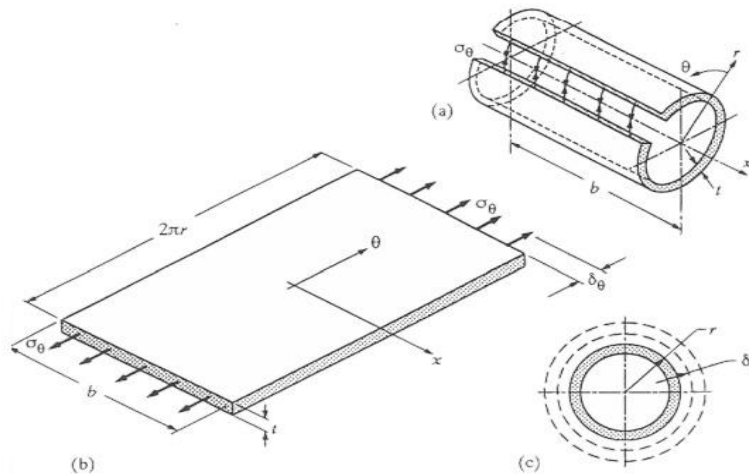
Force circonférentielle :

$$\begin{aligned} F_\theta &= \frac{1}{2} \int_0^\pi F_Y (\theta) d\theta && (\text{Eq. II - 3}) \\ &= \frac{1}{2} [-bpr \cos \theta]_0^\pi \\ &= -\frac{1}{2} bpr [\cos \pi - \cos \theta] = bpr \end{aligned}$$

Contrainte circonférentielle :

$$\sigma_\theta = \frac{F_\theta}{bt} = \frac{pr}{t} \quad (\text{Eq. II - 4})$$

- **Déformation :**



FigII.11: Coupe longitudinale dans la section de cylindre et déplier [10]

$$\delta_{\theta} = \frac{pr}{t} \quad (\text{Eq. II - 5})$$

$$L = 2\pi r \quad (\text{Eq. II - 6})$$

Allongement :

$$\delta = \frac{FL}{EA} \quad (\text{Eq. II - 7})$$

Allongement circonférentiel :

$$\delta_{\theta} = \frac{\sigma_{\theta} AL}{EA} \quad (\text{Eq. II - 8})$$

$$= \frac{pr}{t} \cdot \frac{2\pi r}{E} = \frac{2\pi r^2}{Et} \quad (\text{Eq. II - 9})$$

Changement de rayon :

$$\delta_r = \frac{\delta_{\theta}}{2\pi} = \frac{pr^2}{Et} \quad (\text{Eq. II - 10})$$

II.1.1 Cylindres fermés sous pression :

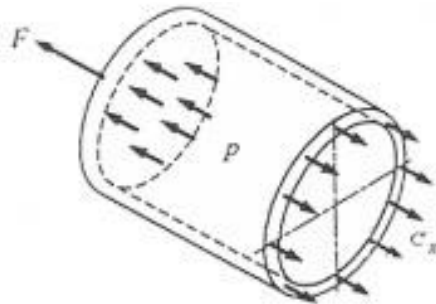


Fig II.12: La pression dans le bouchon de réservoir fermé [10]

- Les contraintes :

Contrainte circonférentielle :

$$\sigma_{\theta} = \frac{pr}{t} \quad (\text{Eq. II - 11})$$

Force sur le bouchon :

$$F_x = \pi r^2 p \quad (\text{Eq. II - 12})$$

Contrainte axiale :

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{\pi r^2 p}{2\pi r t} = \frac{pr}{2t} \quad (\text{Eq. II - 12})$$

Etat de contraintes biaxiales $\sigma_\theta = 2\sigma_x$ (Eq. II - 13)

- Mhor :

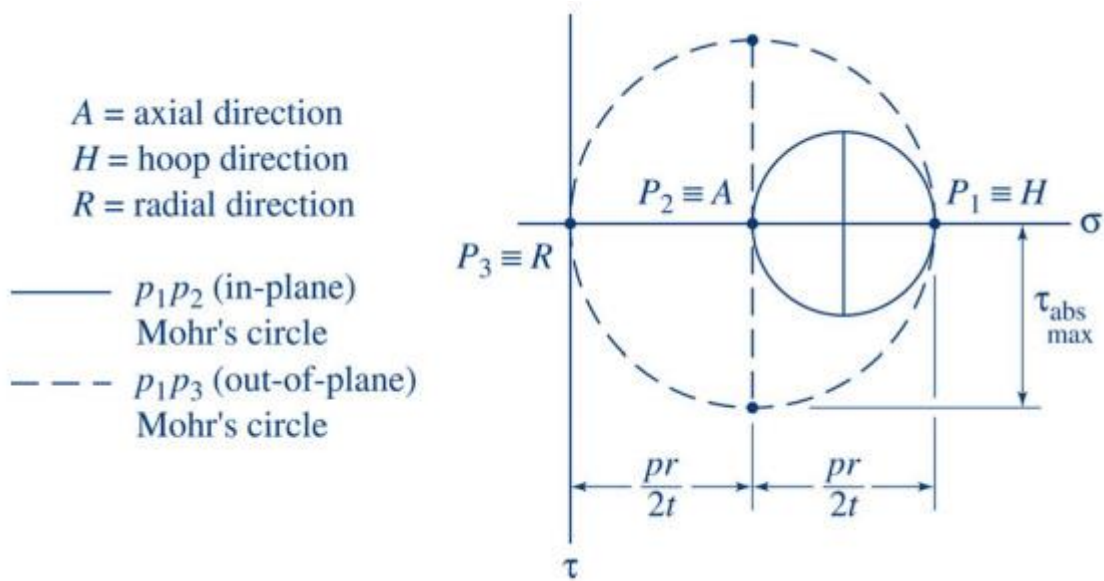


Fig II.13: Etat de contrainte représentée sur cercle de mohr [10]

Contrainte de cisaillement maximale :

$$|\tau_{max}| = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{2pr}{2t} \right) = \frac{pr}{2t} \quad (\text{Eq. II - 14})$$

II.1.2 Sphères sous pression :

- Contrainte :

Force dans liquide/gaz :

$$F_p = p \cdot \pi r^2 \quad (\text{Eq. II - 15})$$

Force dans paroi :

$$F_s = \sigma_s \cdot A = \sigma_s \cdot 2\pi r t \quad (\text{Eq. II - 16})$$

Equilibre des forces :

$$F_s \equiv F_p \quad (\text{Eq. II - 17})$$

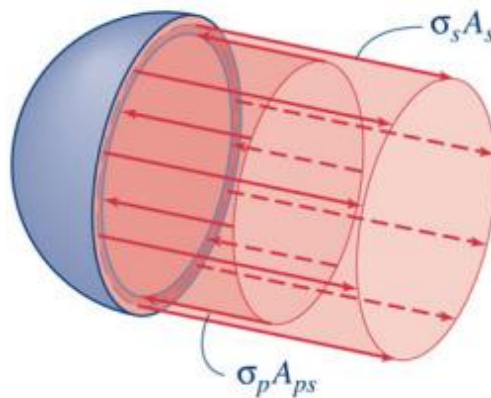


Fig II.14: La pression représentée sur un coupe de cercle [10]

Contrainte

$$\sigma_s = \frac{pr}{2t} = \sigma_x \quad (\text{Eq. II - 17})$$

II.1.3 Comparaison sphères vs cylindres :

Donc les contraintes de sphère elle est deux fois plus faible par rapport à cylindre

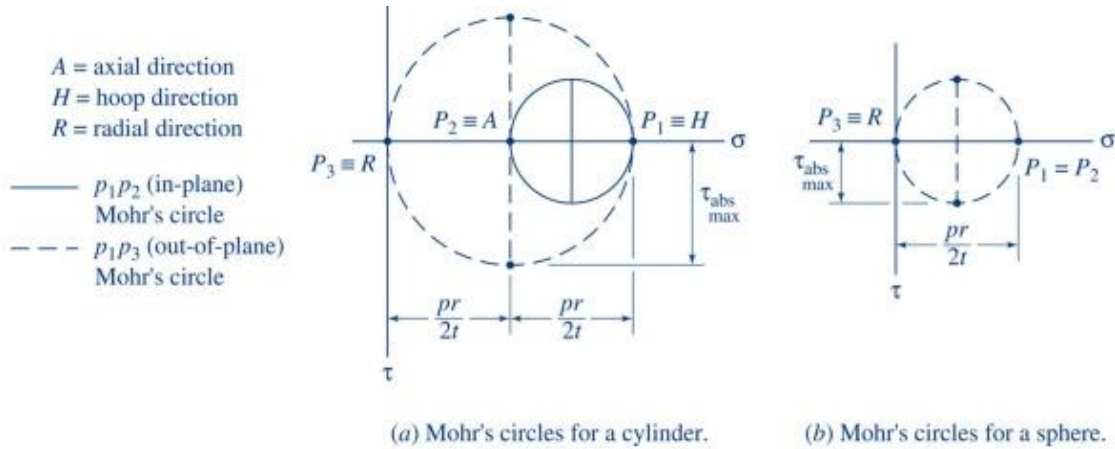


Fig II.15: Le cercle de mohr de sphère et cylindre [10]

$$|\tau_{max, Sphere}| = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{pr}{4t} = \frac{1}{2} |\tau_{max, cylindre}| \quad (Eq. II - 18)$$

II.2 La conception de réservoir cylindrique sous pression GPL par la norme ASME :

Le réservoir est constitué d'une coque cylindrique soudé bout à bout longitudinal, fermé par deux fonds elliptiques soudés bout a bout sur bord soyé

L'assemblage des fonds à la virole est exécuté par soudage à farc électrique automatique

Une ouverture est prévue sur virole pour le remplissage et l'entretien

II.2.2 Calcul de l'épaisseur de réservoir : [13]

$$\frac{D}{t} = \frac{300}{3} = 100 \geq 20 \rightarrow \text{donc c'est un Réservoir cylindrique à paroi mince}$$

ASME SECTION VIII - Coques cylindriques minces :

Les formules de l'ASME Section VIII, Division 1, paragraphe UG-27, utilisées pour calculer l'épaisseur de paroi et la pression de conception des récipients sous pression à paroi mince

a) Contrainte circonférentielle (soudures longitudinales) :

Lorsque $P < 0,385SE$

$$t = \frac{PR}{SE-0.6P} \quad (\text{Eq. II - 19})$$

$$P = \frac{SEt}{R+0.6t} \quad (\text{Eq. II - 20})$$

b) Contrainte longitudinales (soudures circonférentielle) :

Lorsque $P < 1.25SE$

$$t = \frac{PR}{2SE+0.4P} \quad (\text{Eq. II - 21})$$

$$P = \frac{2SEt}{R-0.4t} \quad (\text{Eq. II - 22})$$

- t = Épaisseur de paroi de conception minimale
- P = pression de conception
- D = diamètre extérieur du tube
- R = rayon interne
- E = Facteur de soudage (1,0 pour tube sans soudure : 0,85 = pour tube soudé)
- S = Contrainte admissible maximale

II.2.3 Calcul des dimensions de fond de réservoir : [11]

Il y a plusieurs types des fonds de réservoir :

Nous en citons quelques-uns

- Fonds plat
- Fonds à rebord
- Calottes sphérique
- Fonds elliptique
- Cônes
- Fonds inversé

Nous utilisons le fond elliptique Selon ASME VIII Div. 1

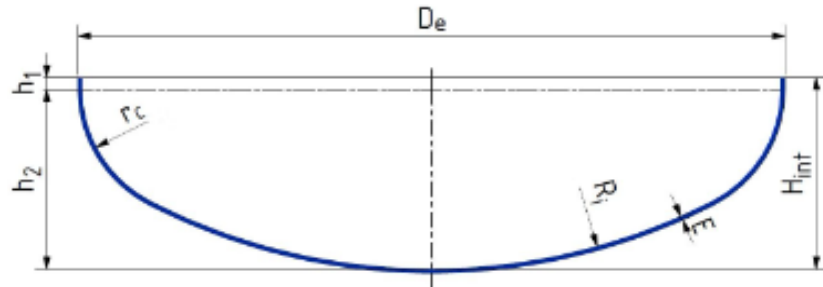


Fig II.16: Le fond elliptique [11]

$$D_i = D_e - 2 \times E$$

$$R_i = 0,9 \times D_i$$

$$R_c = 0,17 \times D_i$$

h_1 = selon votre demande

$$h_2 = 0,25 \times D_i$$

$$H_{int} = h_1 + h_2$$

- D_e = Diamètre extérieur du fond
- D_i = Diamètre intérieur du fond
- R_i = Rayon intérieur de bombage
- R_c = Rayon de Carre
- h_1 = Hauteur du bord cylindrique
- h_2 = Flèche intérieure
- H_{int} = Hauteur intérieure du fond
- E = Épaisseur nominale de la tôle

Conclusion :

Le dimensionnement d'un réservoir est une étape délicate nécessitant un savoir faire pointu pour répondre aux exigences de la norme et de la réglementation en vigueur. La prise en charge du volet sécurité est primordiale et nécessite des réflexions qui dépassent l'étude à l'utilisation finale pour se rendre compte de toutes les éventualités et éviter la défaillance.

CHAPITRE III

Conception et
simulation numérique
d'un réservoir sous
pression cylindrique
(GPL)

III.1 Introduction sur SolidWorks :

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur, appartenant à la société Dassault Systèmes. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés: la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres.

III.2 Caractéristiques de matériau utilisé :

L'acier EN 1.0425 est un acier au carbone (non allié) formulé pour le formage primaire en produits corroyés. Les propriétés citées sont appropriées pour la condition normalisée. 1.0425 est la désignation numérique EN pour ce matériau. P265GH est la désignation chimique EN.

Il a une énergie intrinsèque modérément élevée parmi les aciers corroyés au carbone ou non alliés. De plus, il a un coût de base modérément élevé et une conductivité électrique modérément élevée.

Les barres du graphique sur les cartes de propriétés des matériaux ci-dessous comparent l'acier EN 1.0425 à : des aciers au carbone ou non alliés corroyés (en haut), tous les alliages de fer (au milieu) et l'ensemble de la base de données (en bas). Une barre pleine signifie qu'il s'agit de la valeur la plus élevée de l'ensemble correspondant. Une barre à moitié pleine signifie qu'elle est à 50 % de la valeur la plus élevée, et ainsi de suite.

III.2.1 Propriétés mécaniques :

La dureté de Brinell	140 kgf
Module de Young	190 Gpa
Allongement à la rupture	24 %
Résistance à la fatigue	190 Mpa
Résistance aux chocs	44 J
Coefficient de Poisson	0.29
Module de cisaillement	73 Gpa
Résistance au cisaillement	300 Gpa
Résistance à la traction : Ultime (UTS)	470 Mpa
Résistance à la traction : Rendement (preuve)	260 Mpa

Tableau III.3: Propriétés mécaniques [12]

III.2.2 Composition chimique % :

Alliage	Pourcentage maximum %
Si	0.4
Cr	0.3
Ni	0.3
Cu	0.3
C	0.2
Al	0.02
Ti	0.03
P	0.025
Ni	0.3
V	0.02
N	0.012
S	0.015

Tableau III.4: Composition chimique % [12]

III.2.3 Caractéristique générale de réservoir GPL

Matériaux	Acier
Poids en Kg	28.6
Diamètre nominale en mm	300
Epaisseur mini en mm	3
Hauteur totale en mm	971
Température de service °C	0 à 60
Fluide contenu	GPL
Volume en litre	60
Pression de service en Bar	21
Pression d'épreuve en Bar	32
Position en service	Horizontale

Tableau III.5: Caractéristique générale de réservoir GPL [13]

III.3 Dimensionnement du fond du réservoir utilisé : [11]

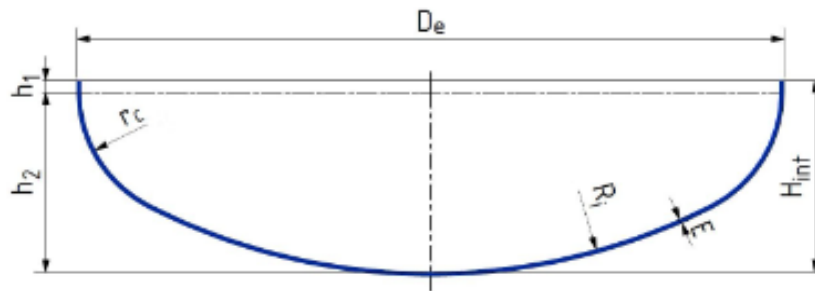


Fig III.17: Le fond elliptique [11]

$$D_i = D_e - 2 \times E = 300 - 2 \times 3 = 294 \text{ mm}$$

$$R_i = 0,9 \times D_i = 264 \text{ mm}$$

$$R_c = 0,17 \times D_i = 49.98 \text{ mm}$$

$$h_1 = 35 \text{ mm}$$

$$h_2 = 0,25 \times D_i = 73.5 \text{ mm}$$

$$H_{int} = h_1 + h_2 = 108.5 \text{ mm}$$

$$E = 3 \text{ mm}$$

III.4 Conception par SolidWorks :

la conception du réservoir cylindrique nécessite l'assemblage par soudage de la virole avec les fonds sur les deux cotés.

III.4.1. Etapes de conception du virole :

1. Esquisse du virole

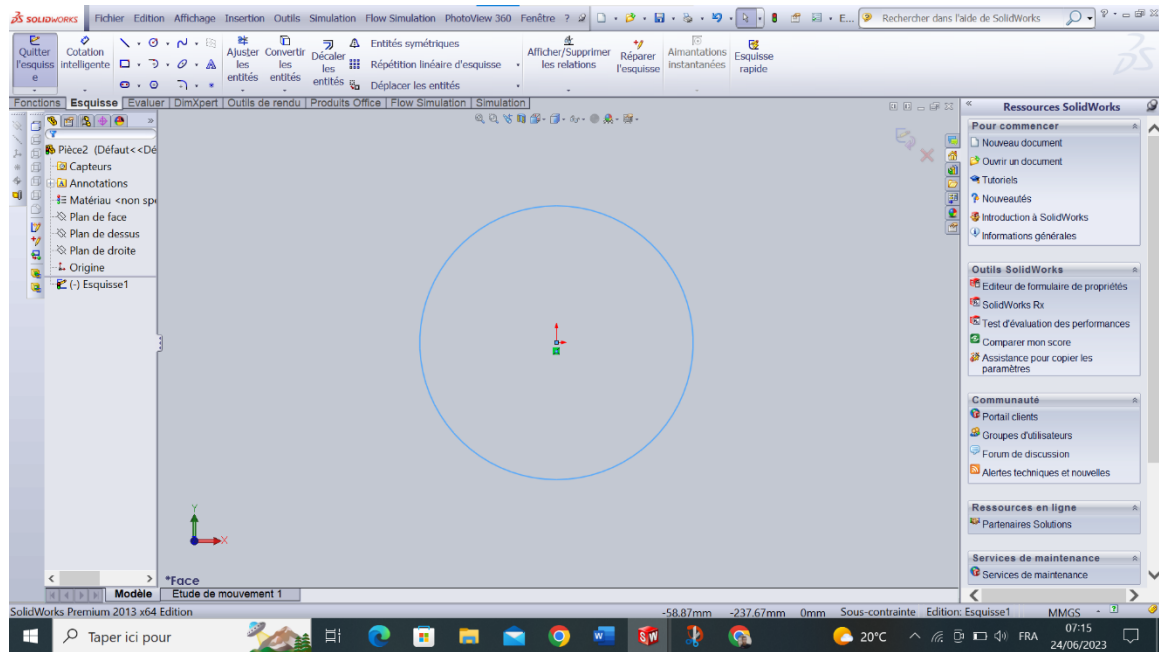


Fig III.18: Esquisse du virole

2. Le bossage extrudé du virole

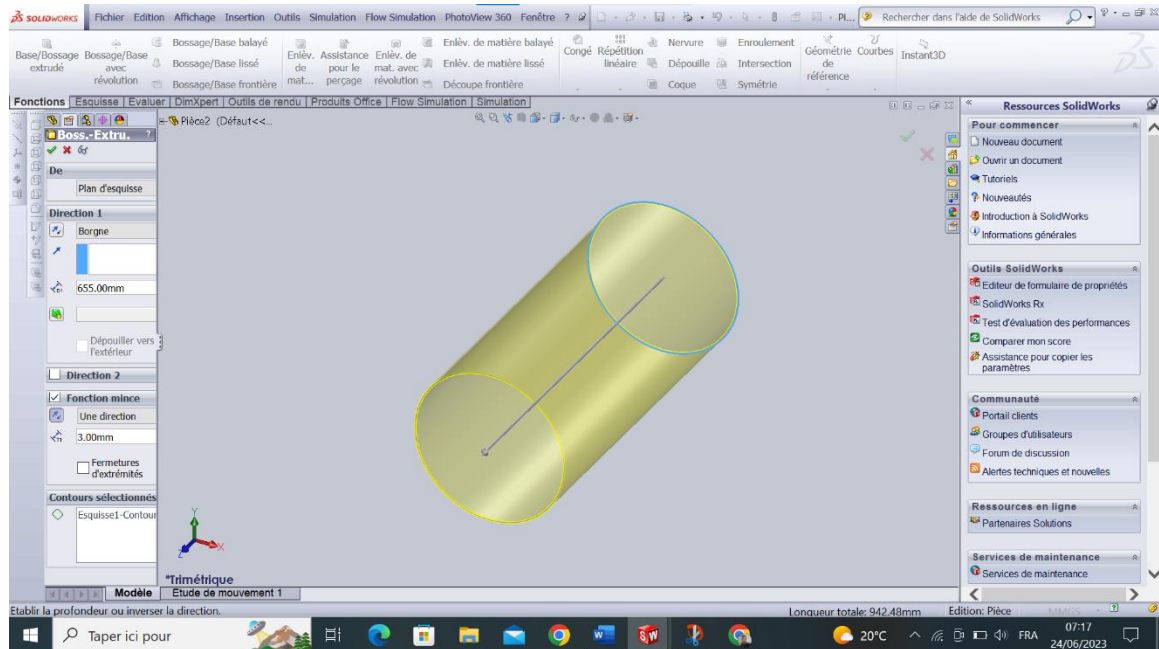


Fig III.19: Extrusion du virole

Géométrie du virole :

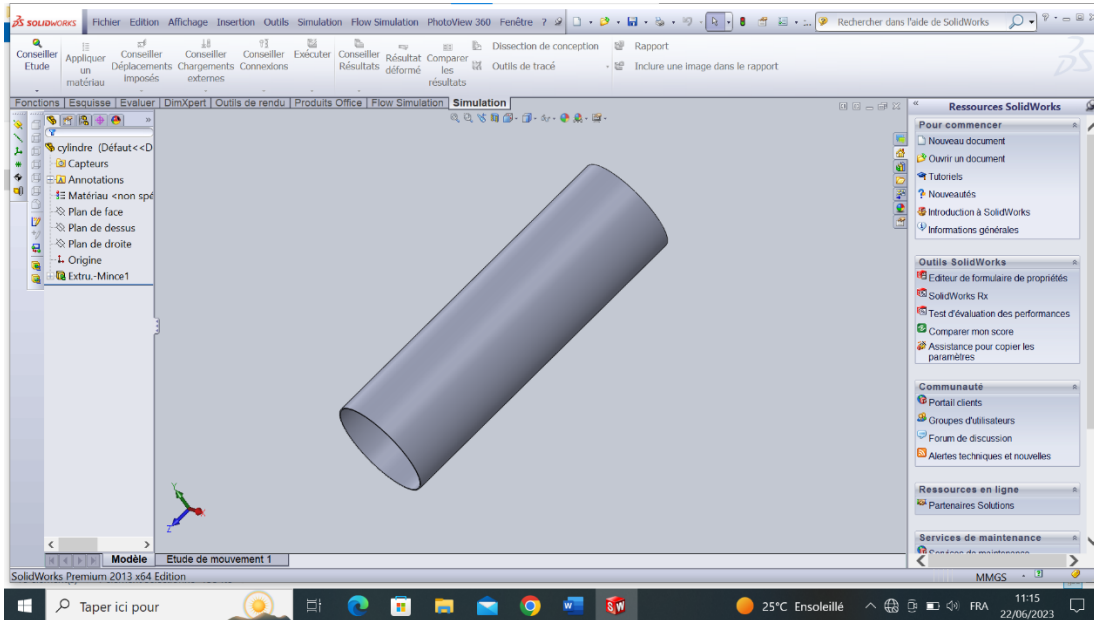


Fig III.20: Forme du virole

III.4.2. Etapes de conception du fond :

1. Géométrie du fond

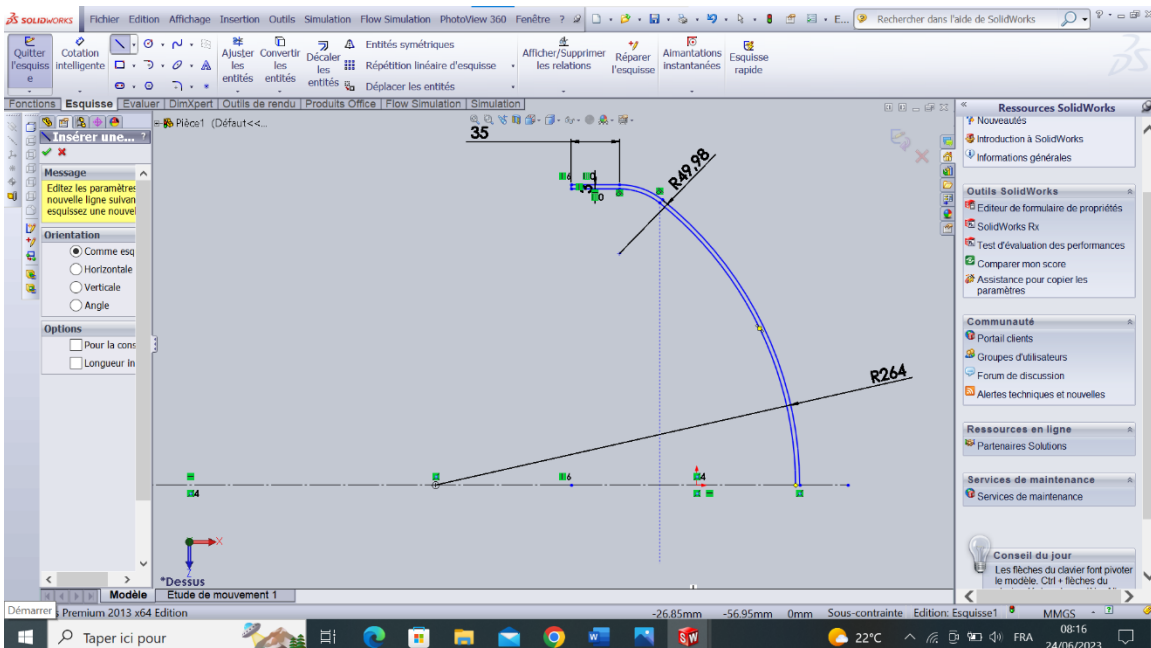


Fig III.21: Esquisse du fond

2. Bossage avec révolution

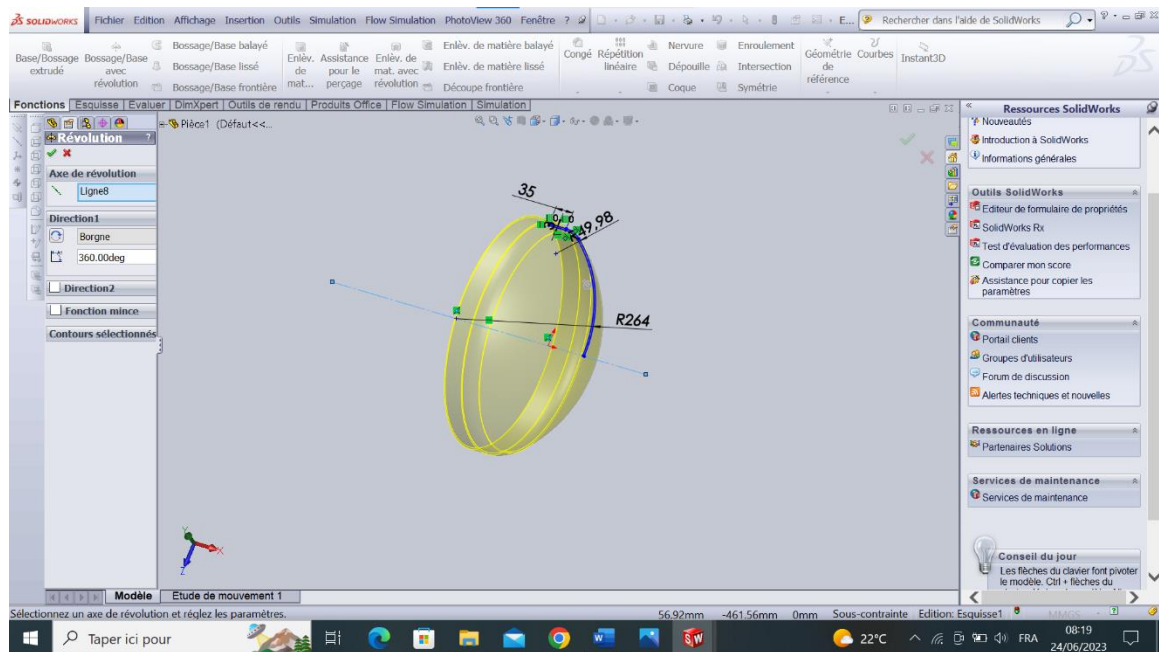


Fig III.22: Bossage du fond

Forme du fond :

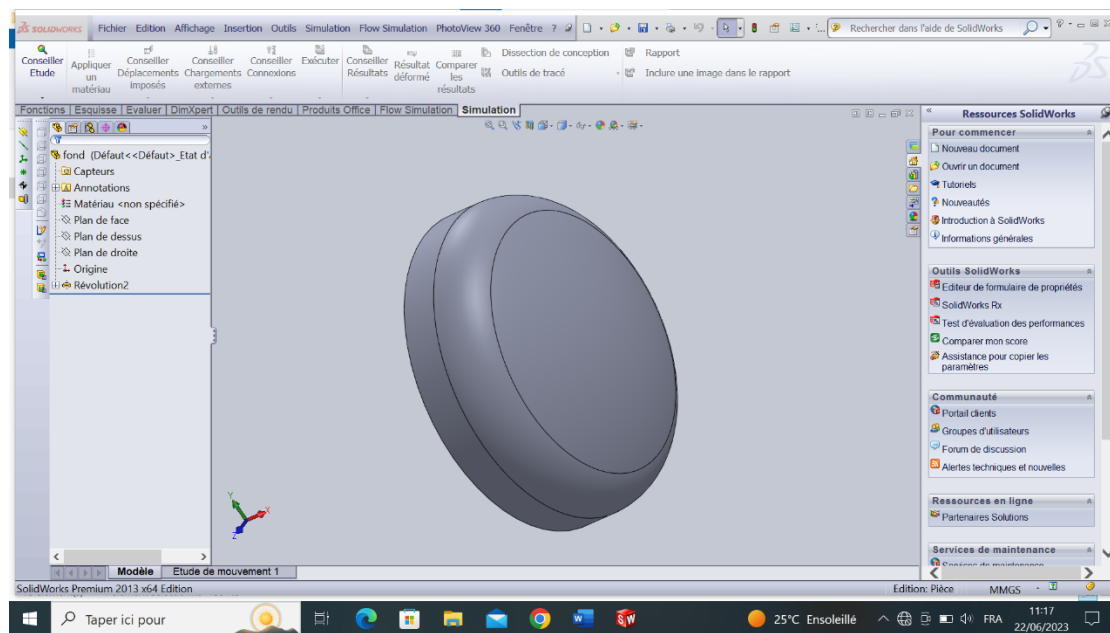


Fig III.23: Forme du fond

III.4.3. Assemblage des pièces :

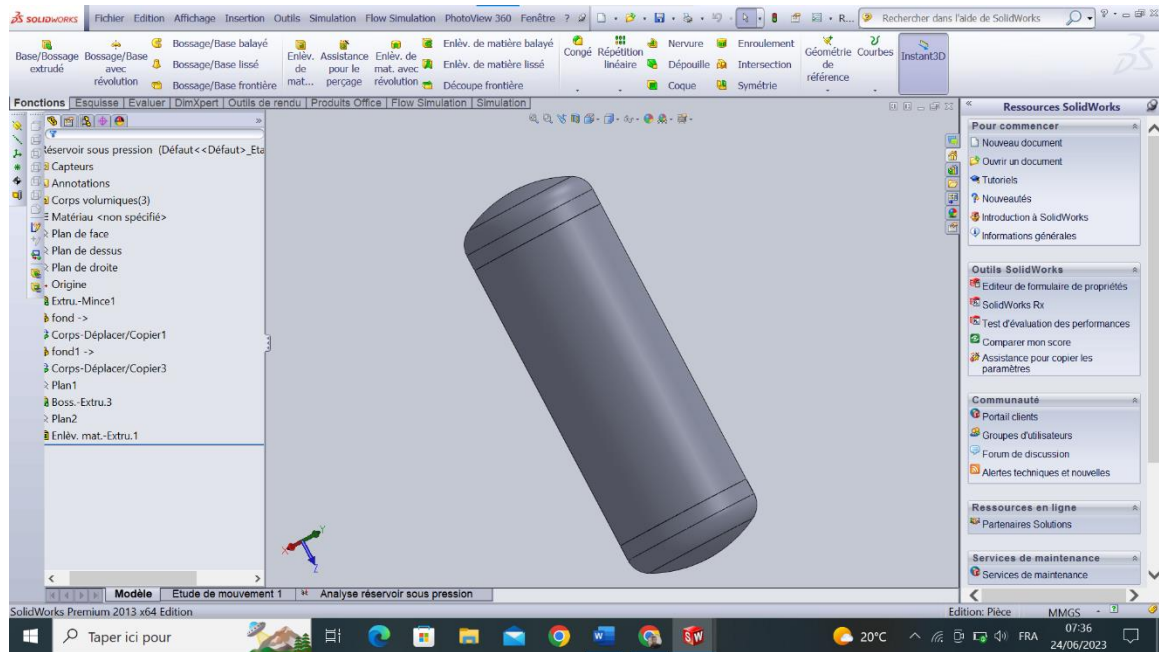


Fig III.24 : Assemblage virole avec les fonds

III.4.4. La vanne :

1.Esquisse de la vanne

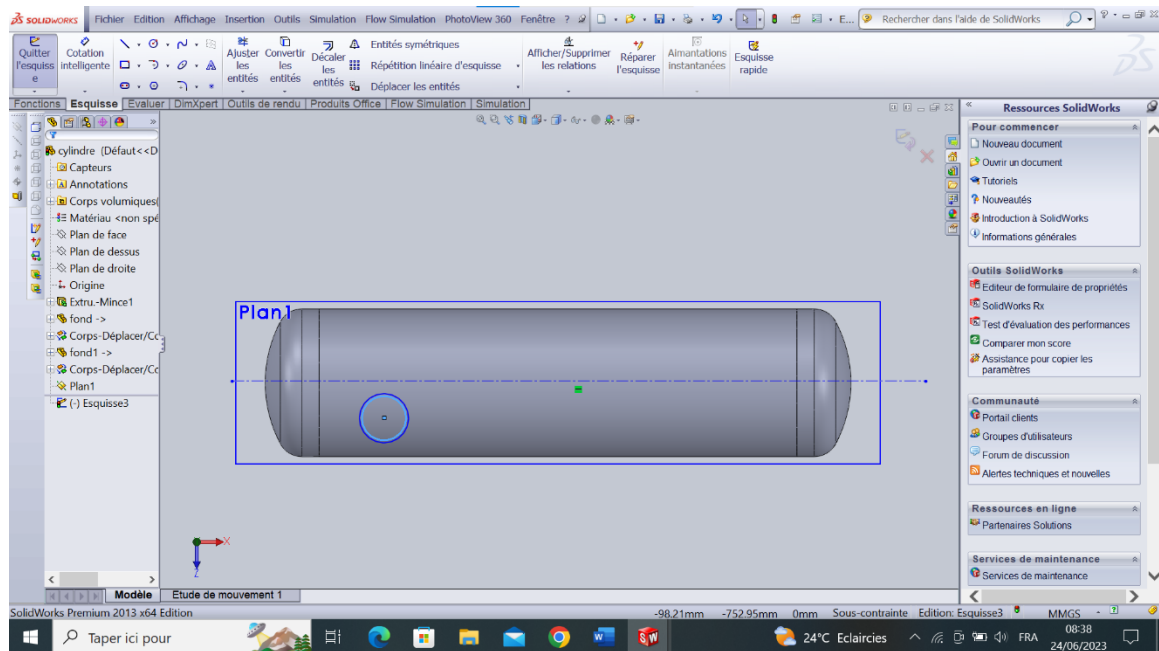


Fig III.25 : Esquisse de vanne

2. Extrusion de la vanne

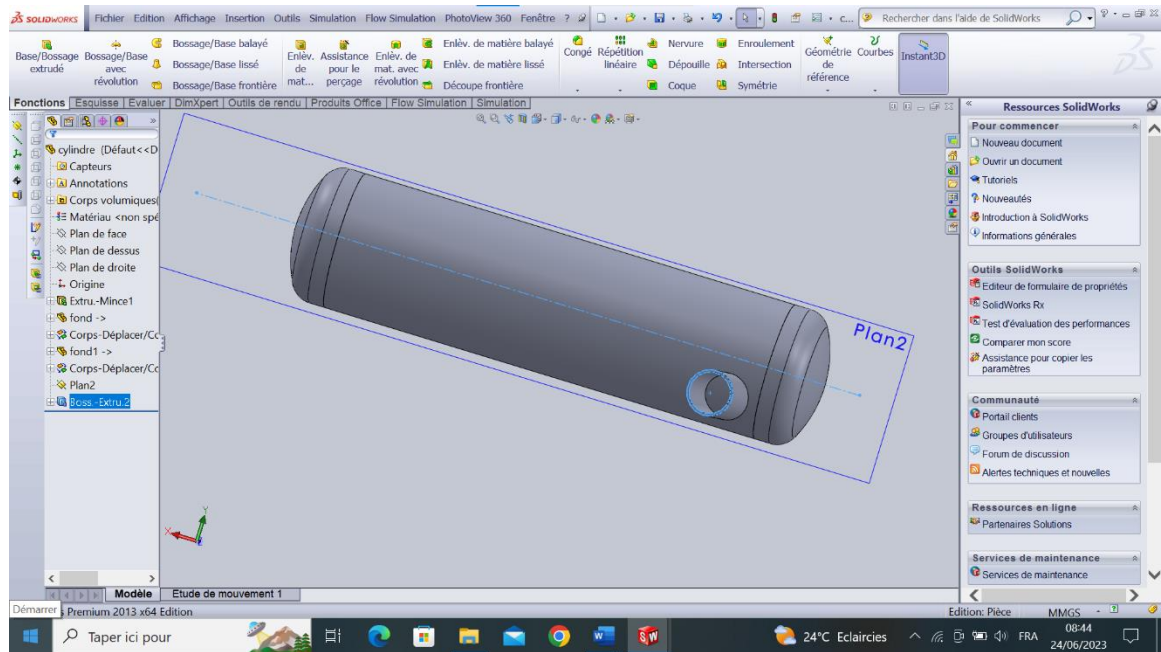


Fig III.26 : Extrusion de la vanne

3. Esquisse de vanne

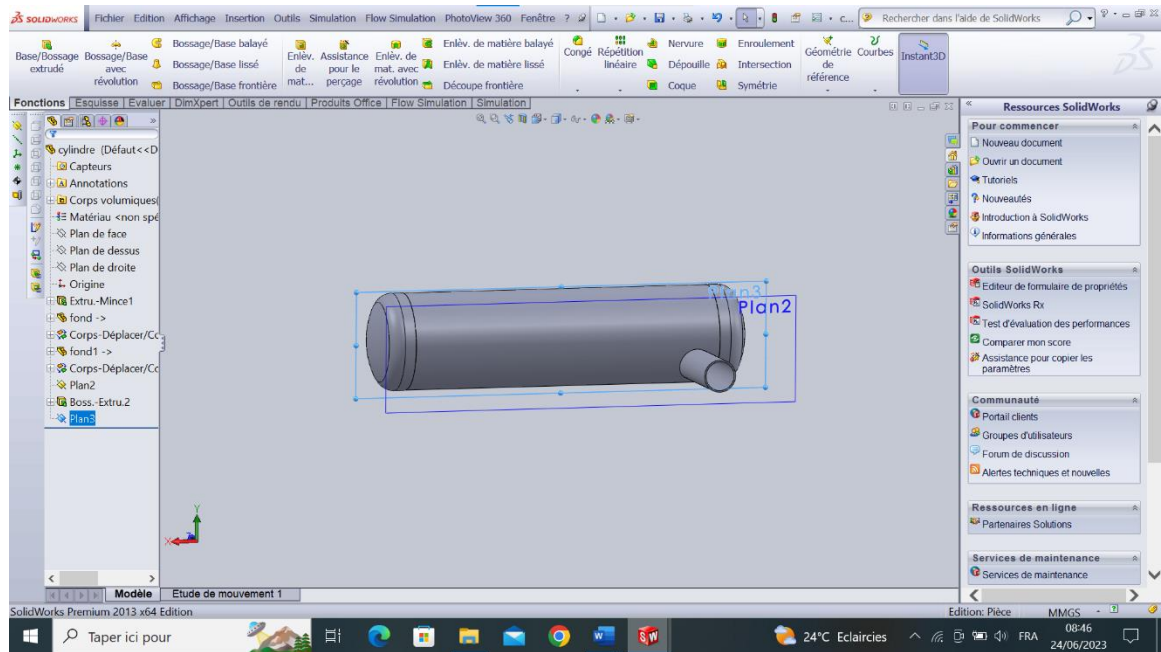


Fig III.27: Esquisse de vanne

4. Bossage avec révolution

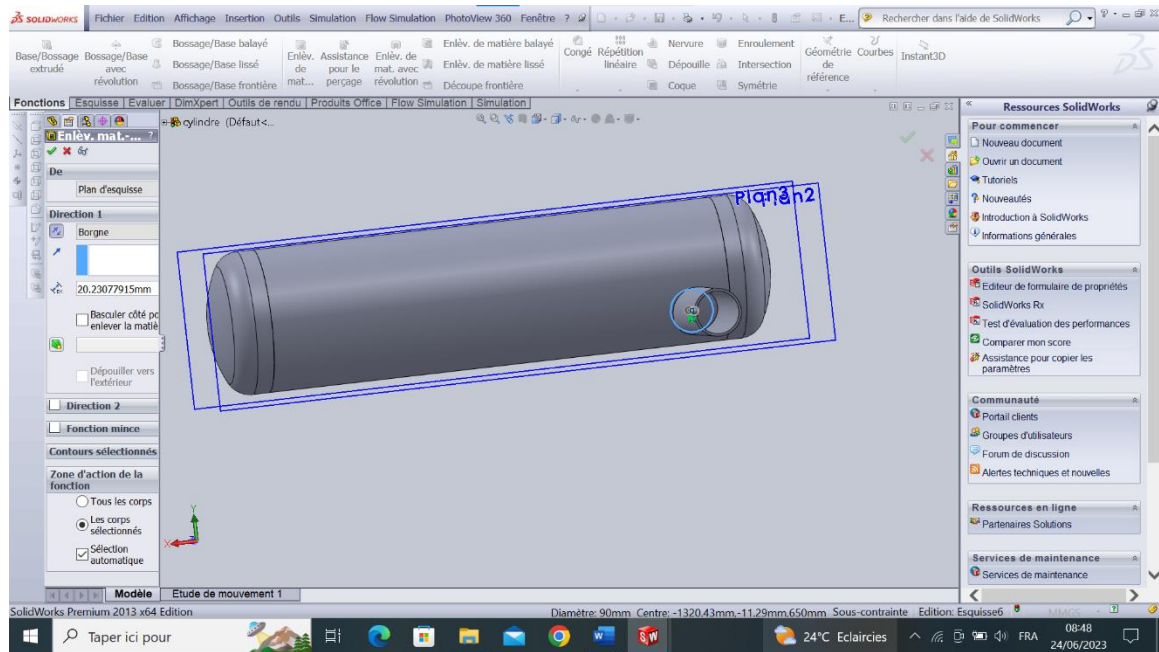


Fig III.28: Bossage avec révolution

5. Conception finale du réservoir sous pression GPL:

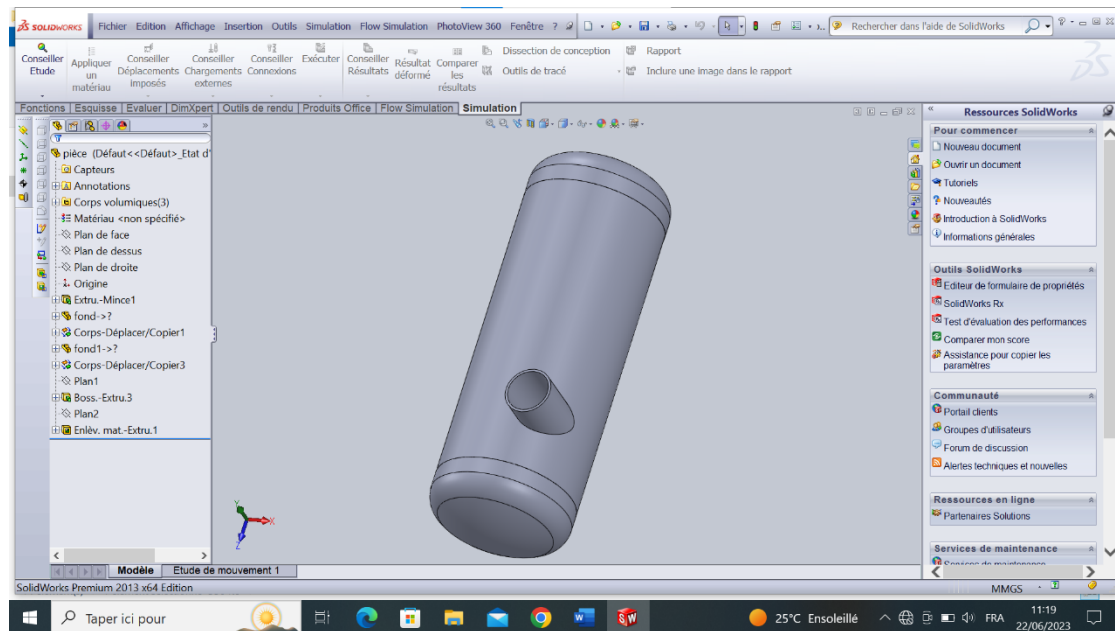
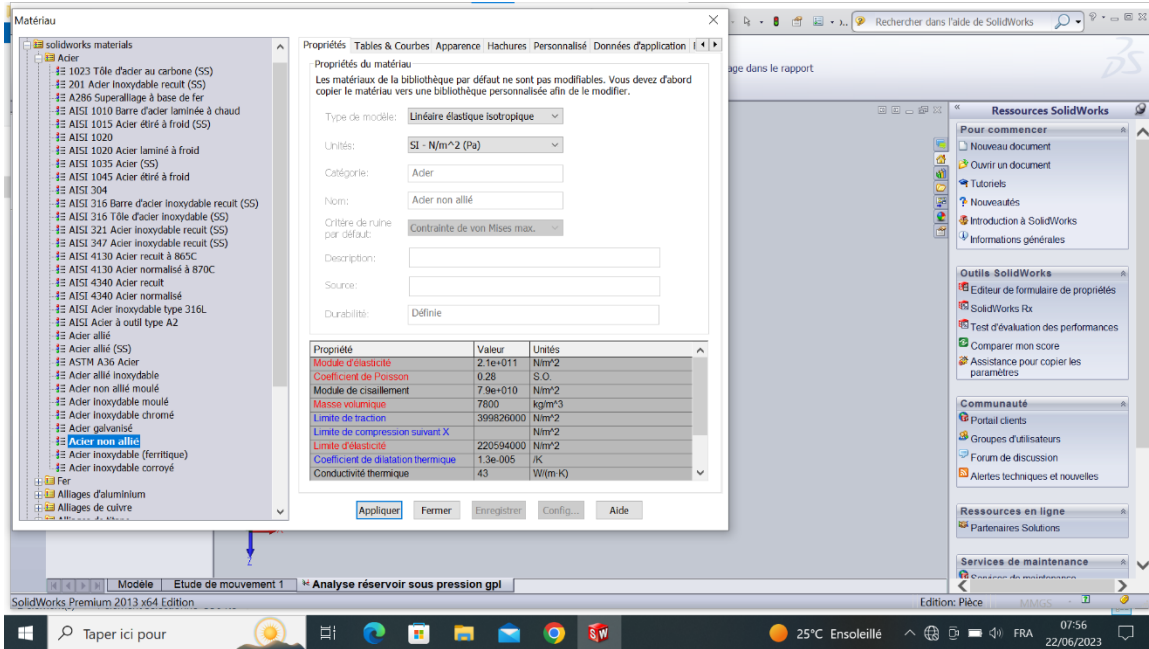


Fig III.29 : Réservoir sous pression

III.5 Simulation numérique par SolidWorks:

III.5.1 Choix du matériau :

Le matériau choisi est acier non allié.



FigIII.30: Choix du matériau par SolidWorks

III.5.2 Conditions aux limites de déplacement :

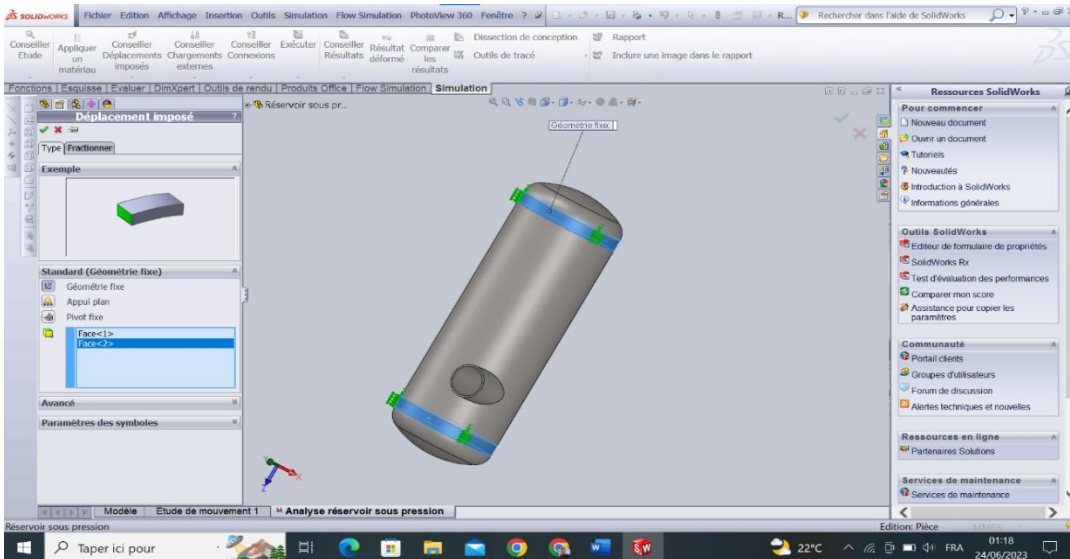


Fig III.31: Déplacement imposé

III.5.3 Choix conditions aux limites de chargement :

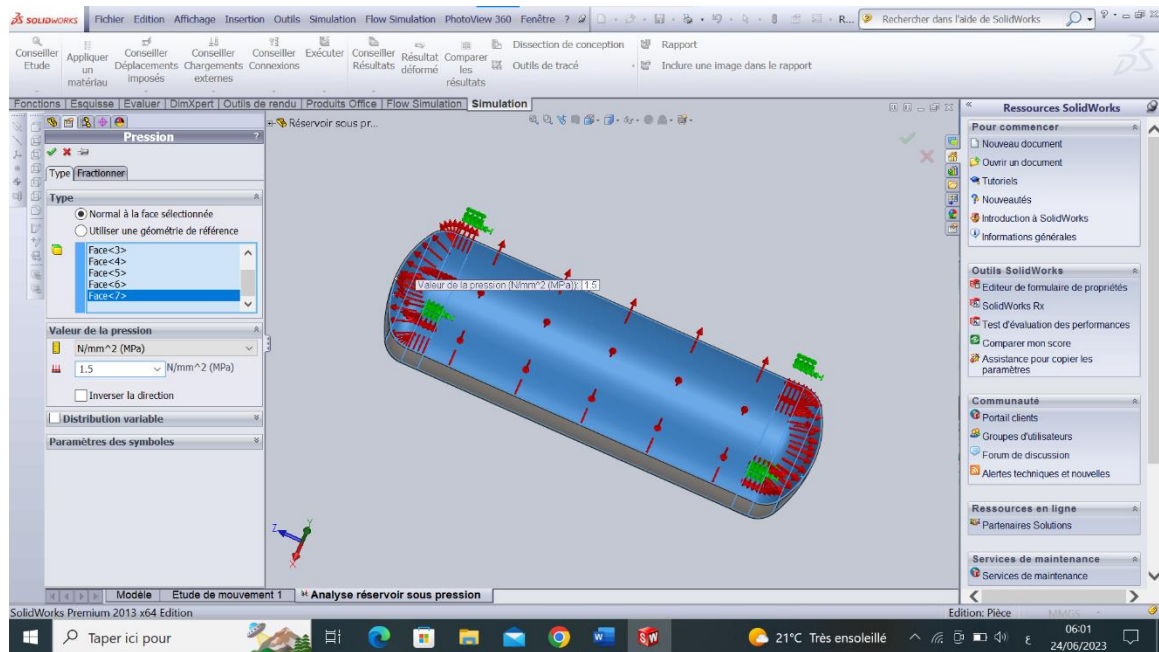


Fig III.32: Conditions aux limites de chargement

III.5.4 Discrétisation en élément (maillage) :

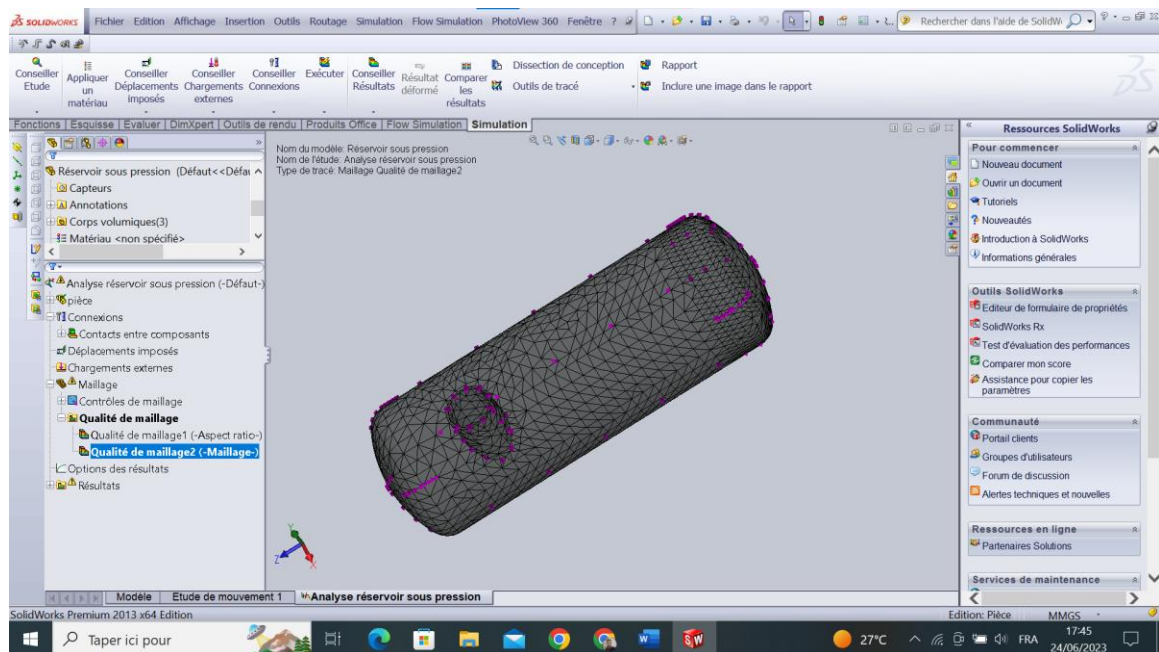


Fig III.33: Maillage du réservoir

III.5.5 Résolution :

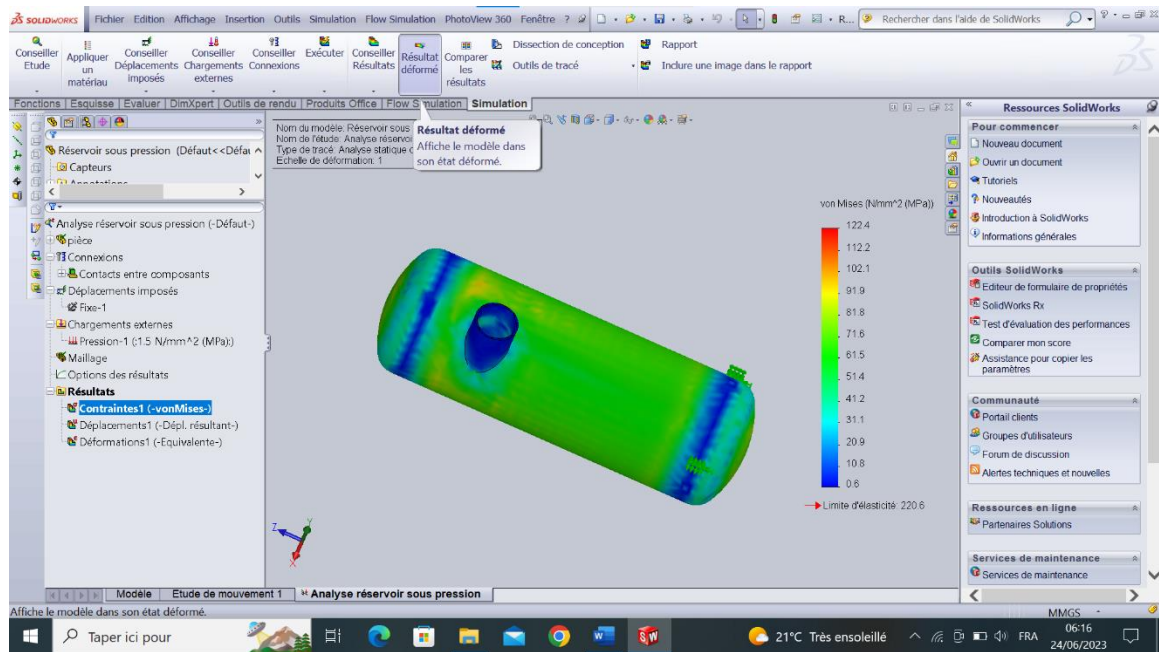


Fig III.34: Résolution

III.6 Résultats et interprétation:
Résolution et Exécution

- Pour $P=1.5$ MPA

✓ Détermination des contraintes de Von Mises :

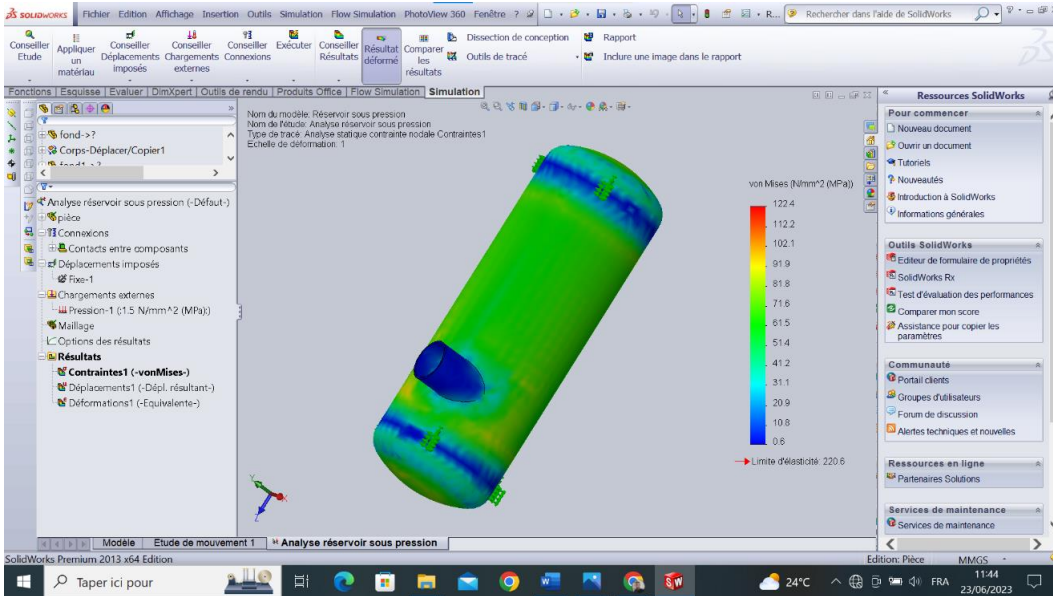


Fig III.35: : Contraintes de Von-Mises ($P=1.5$ MPA)

✓ Détermination des déformations élastique

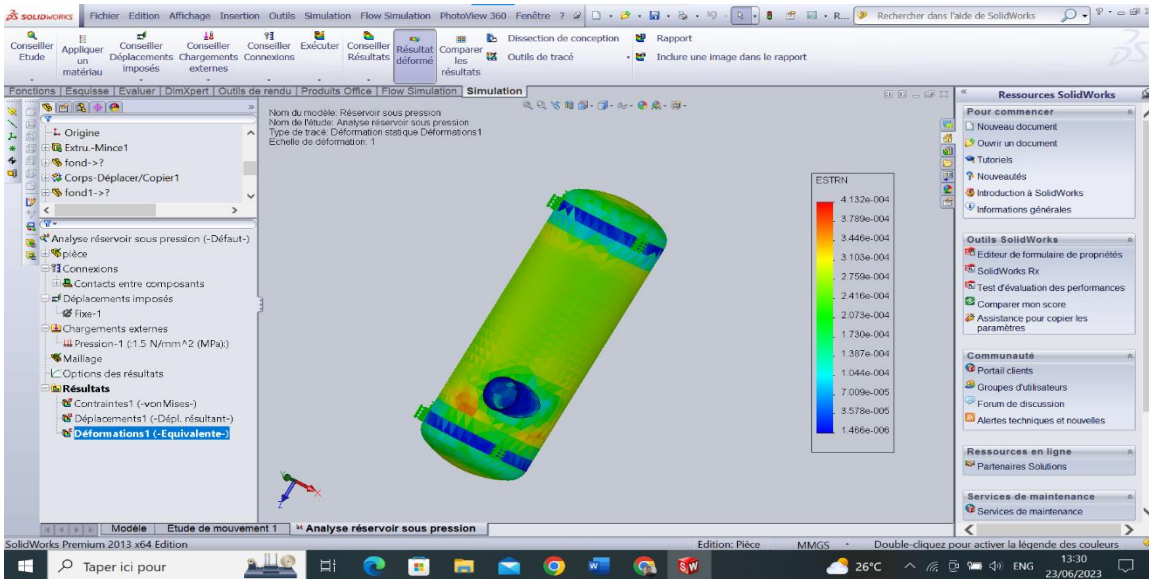


Fig III.36: Déformation élastique ($P=1.5$ MPA)

CHAPITRE III Conception et simulation d'un réservoir sous pression cylindrique (GPL)

- Pour $P=2.7$ MPA
- ✓ Détermination des contraintes de Von-Mises :

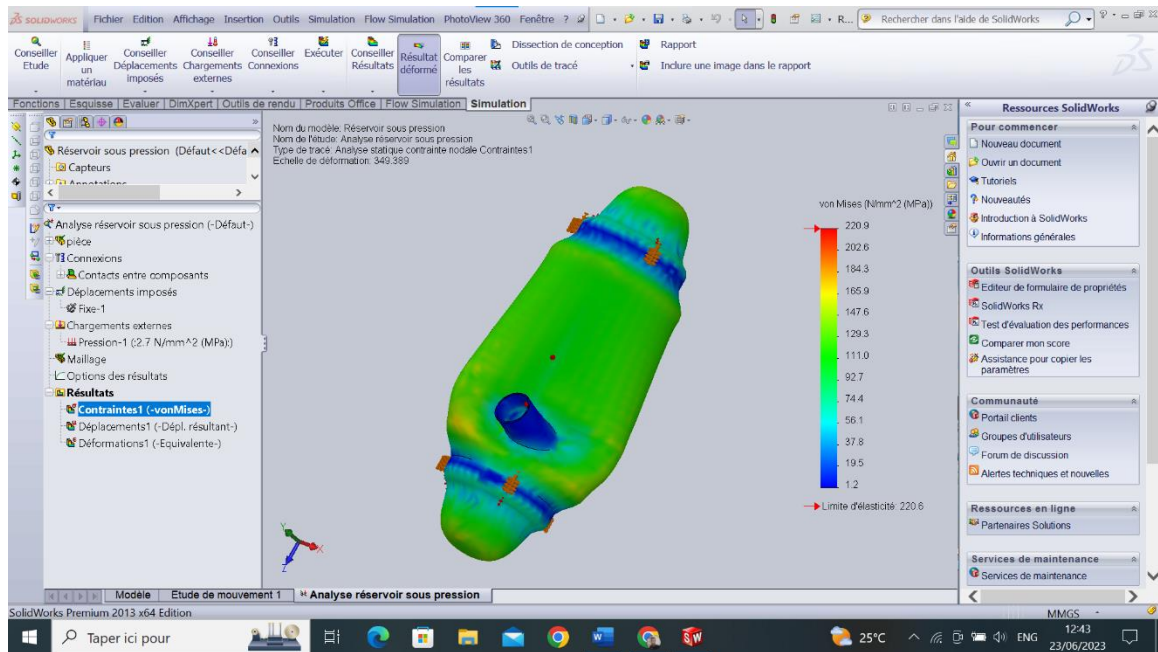


Fig III.37: Contraintes de Von-Mises ($P=2.7$ MPA)

- ✓ Détermination des déformations élastiques :

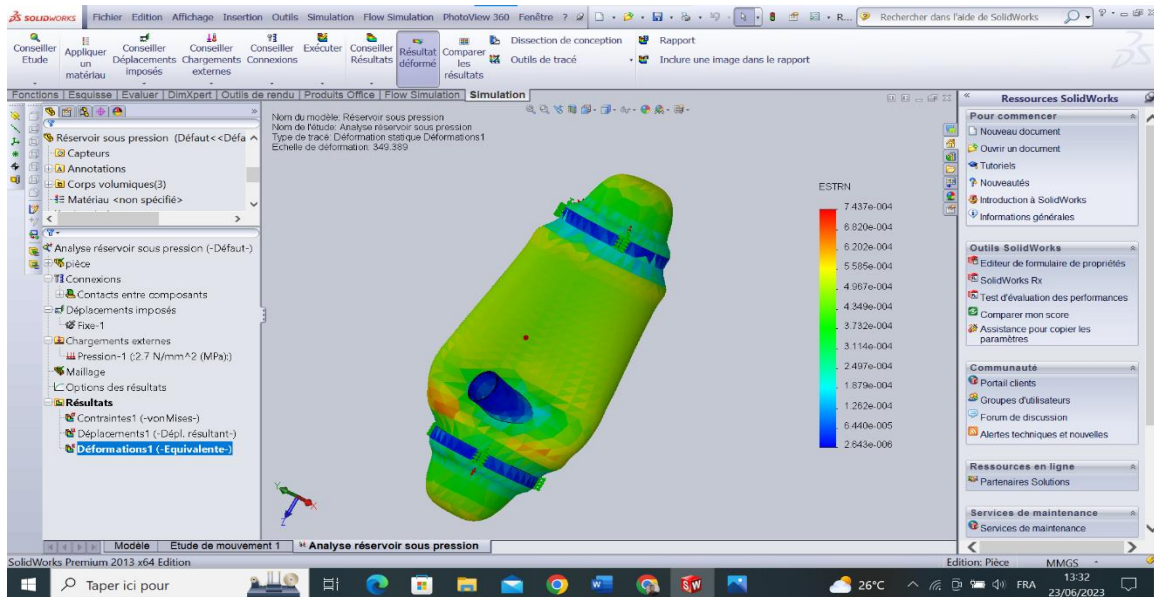


Fig III.38: Déformation élastique ($P=2.7$ MPA)

CHAPITRE III Conception et simulation d'un réservoir sous pression cylindrique (GPL)

- Pour $P=3$ MPA

✓ Détermination des contraintes de Von-Mises :

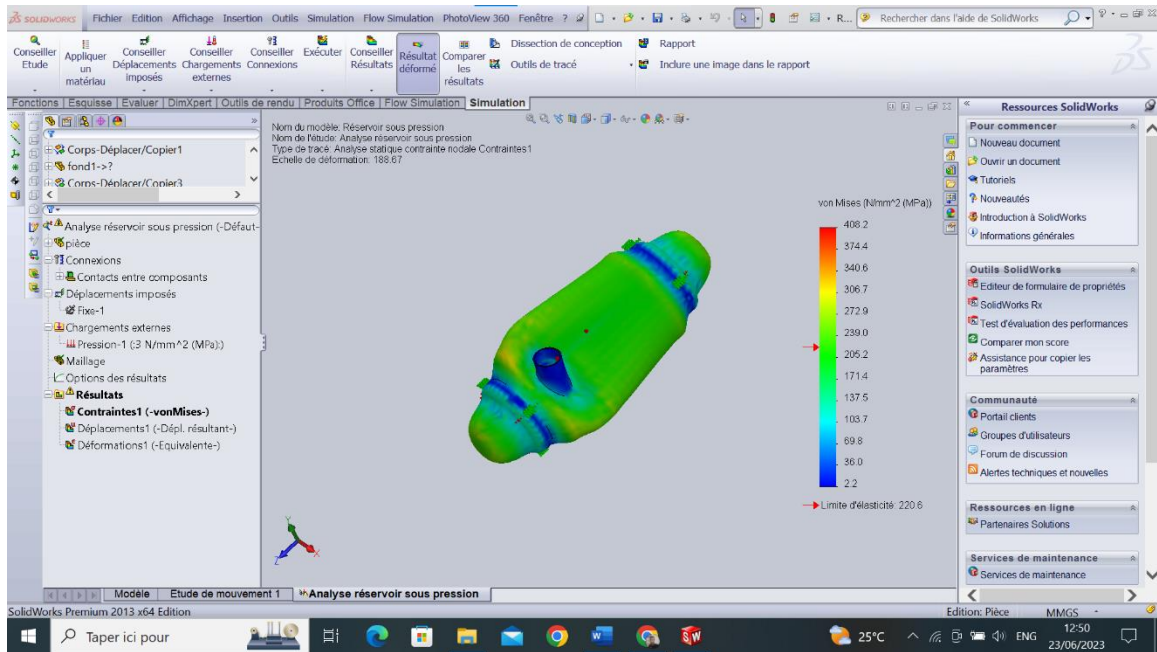


Fig III.39: Contraintes de Von Mises ($P=3$ MPa)

✓ Détermination des déformations élastiques :

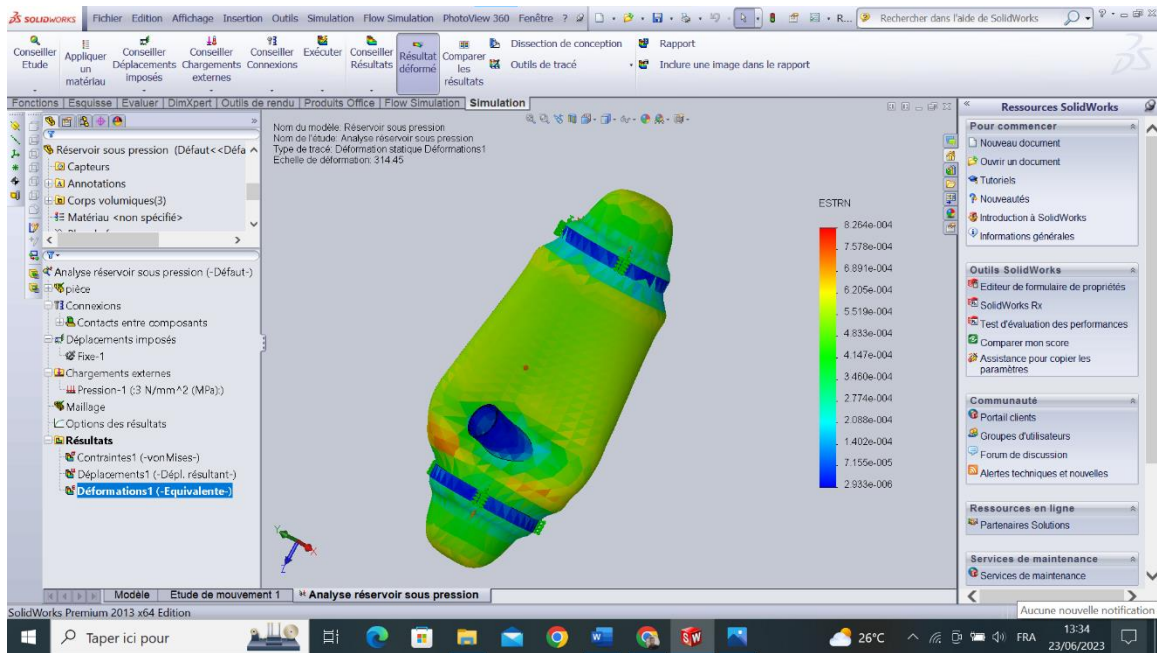


Fig III.40: Déformation élastique ($P=3$ MPa)

CHAPITRE III Conception et simulation d'un réservoir sous pression cylindrique (GPL)

En variant la pression appliquée de 1.5 MPA jusqu'à 3MPa les contraintes de Von-Mises varient de 122.4 MPA jusqu'à 408.2Mpa et les déformations élastiques varient de 4.132 e-004.jusqu'à 8.264 e-004.

- La limite élastique est atteinte quand la pression applique dépasse la valeur 3MPa ce qui correspond à une déformation élastique de 8.264 e-004.
- Les valeurs maximales sont atteintes aux niveaux du joint de la soudure virole-fond ce qui ce qui en fait une zone dangereuse.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

En conclusion, les réservoirs sous pression pour GPL (gaz de pétrole liquéfié) sont des dispositifs de stockage et de transport essentiels pour ce type de gaz. Ils sont conçus pour stocker en toute sécurité des volumes importants de GPL sous pression, ce qui les rend idéaux pour une utilisation dans les maisons, les bâtiments commerciaux et les véhicules. Les réservoirs sous pression pour GPL sont fabriqués avec des matériaux de haute qualité et sont équipés de soupapes de sécurité pour éviter les surpressions dangereuses.

L'objectif de ce travail c'est l'étude par simulation numérique d'un réservoir sous pression destiné au stockage du GPL de véhicules.

Tout d'abord un travail de conception a été réalisé selon la norme (ASME) puis une simulation numérique par SolidWorks a permis d'étudier la résistance à travers la détermination des contraintes de Von-Mise et des déformation élastiques

Les résultats obtenus par simulation numérique indiquent que la pression maximale que peut supporter un réservoir sous pression est d'environ 3MPa et que la zone dangereuse est localisée au niveau des joints de soudure. En cette valeur obtenue par simulation ($P=3\text{Mpa}$) avec celle obtenue expérimentalement (**Tableau III.6**), on remarque que l'erreur ne dépasse pas 6% ce qui permet de confirmer que les résultats obtenus sont acceptables et que l'étude par simulation numérique a donné des résultats très satisfaisants.

RÉFÉRENCE

Référence

- [1] :en Ling https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_vessel. (avril 2021).
- [2] : MIDOUNE RAID,2020, «EVALUATION DES RISQUES LIE AU STOCKAGE DE GPL » ,Thèse de master.Université akli mohand oulhadj bouira.
- [3] : Comité français butane propane, GPL carburant historique, site web www.cfbp.fr, (Avril2010).
- [4] : Gaz de pétrole liquéfiés, site web www.naftal.dz,(Mar 2010).
- [5] : Page 7 a propos de GPL Manuel d'installation GPL version 1.2 www.kpsystem.com.
- [6] : Comité français du butane et du propane, le gaz butane propane, site web www.cfbp.fr(mai2010).
- [7] : (PRÉVENTION DE RISQUES DE CATASTROPHES DANS LES DÉPÔTS DE GPL: CAS DE ORYX-GPL-TOGO) TOGBONOU Koffi Sémégnon Géographe / Consultant].
- [8] : J.P.Wauquier, pétrole brut, produit pétrolières, schémas de fabrication, (tome I) édition Technip (1994).
- [9]: en Ling https://en.wikipedia.org/wiki/American_Society_of_Mechanical_Engineers.(mai 2023).
- [10]: J-A Goulet polytechnique Montréalprofs.polymtl.ca <https://profs.polymtl.ca>
- [11] : <https://www.unifonds.fr/produits/fonds-elliptique/>.
- [12] : <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.0425-P265GH-Non-Alloy-Steel>
- [13] : https://www.engineersedge.com/pressure_vessels_menu.shtml