

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة سعد دحلب البليدة
UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA



FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE

Projet de fin d'études
Pour l'obtention de diplôme de
Master en Génie Mécanique et Matériaux

Thème

Etude de faisabilité d'une bouteille de gaz en GPL.

Réalisé par :

- HENNI Kouider
- HADJALAH Nadhir

Promoteur : Dr. MERZOUG Djamel

Année universitaire 2016 / 2017

Remerciements

Nous remercions ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné la volanté et la patience de mener à terme ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé sous la direction de notre promoteur Dr. MERZOUG Djamel, enseignant au département mécanique université de Blida 1.

En lui exprimant particulièrement toutes nos reconnaissances pour nous avoir fait bénéficier de ces compétences scientifiques, ses qualités humaines et sa constante disponibilité.

Enfin, nous adressons nos vives reconnaissances à Mr. TEMMAR Moustafa, le chef de département génie mécanique, et tous nos enseignants et collègues de l'institut mécanique.

Nos remerciements aussi à tous ceux qui, tout au long de ces années d'études, nous ont encadrés, observé, aidé, conseillé et même supporté.

Dédicaces

Je dédie ce travail à celle qui a fait de moi un Homme et qui m'a transmis les valeurs humaines... au pilier de la famille ... le symbole de la tolérance, de la bonté et de la patience...À ma mère.

A mon père... l'encre sur le papier n'exprime en rien ma gratitude envers toi pour tout ce que tu as fait et tu continues à faire pour moi !

A Tous mes frères et sœurs surtout mes proches amis et à toute la famille.

HADJALAH Nadhir.

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les bouteilles de stockage des gaz

1.1 introduction	2
1.2 Historique.....	2
1.3 Définitions	4
1.3.1 Le propane	4
1.3.2 Le butane.....	4
1.3.3 Bouteille de gaz.....	4
1.4 Matériau utilisé.....	4
1.5 Différents types de bouteille.....	5
1.6 Caractéristiques.....	8
1.6.1 Caractéristiques des bouteilles de butane et de propane usuelles.....	8
1.6.2 Bouteilles nouveau design.....	9
1.6.3 Les accessoires des bouteilles.....	9
1.7 Règles d'installation.....	11
1.8 Débits des bouteilles.....	12
1.8.1 Débit des bouteilles de BUTANE.....	12
1.8.2 Débit des bouteilles de PROPANE.....	13
1.9 Description du processus de fabrication de la bouteille 6 kg.....	14
1.9.1 Caractéristiques techniques des bouteilles.....	15
1.9.1.1 Terminologie et description de la bouteille de type 6 kg.....	15
1.9.1.2 Caractéristiques de la bouteille.....	15
1.9.1.3 Caractéristiques des tôles.....	16
1.9.1.4 caractéristiques du métal d'apport.....	17
1.9.1.5 Caractéristiques de la collerette.....	18
1.9.2 Fabrication.....	18
1.9.2.1 préparations des éléments constitutifs.....	19
1.9.2.2 Le Marquag.....	21
1.9.2.3 Soudage.....	21
1.9.3 Recuit de normalisation.....	22
1.9.4. Contrôle et essai.....	23

1.9.4.1 Epreuve Hydraulique.....	23
1.9.4.2 Essais Destructifs.....	27
1.9.5. Traitement de finition.....	28
1.9.5.1 Grenailage.....	28
1.9.5.2 Métallisa.....	28
1.9.6. Montage des valves.....	29
1.9.7. Tarage.....	29
1.10 Conclusion.....	30

chapitre II : description de la Bouteille de GPL Destine au véhicule

2.1 Introduction.....	31
2.2 Les gaz GPL.....	31
2.2.1 Décomposition molaire des GPL.....	31
2.2.2 Origines.....	31
2.2.3 Nature des gaz de pétrole liquéfié (G.P.L).....	31
2.2.4 Propriétés de G.P.L.....	33
2.2.5 Utilisation des GPL.....	36
2.2.6 Stockage.....	36
2.2.7 Sécurité.....	37
2.2.8 Usages.....	37
2.2.9 Les pays producteurs et consommateurs.....	38
3.2 Les Types de bouteilles GPL pour un véhicule	38
2.3.1 Bouteille GPL Aluminium.....	38
2.3.1.1 Les accessoires de la bouteille.....	39
2.3.2 le réservoir d'un kit GPL.....	42
2.3.2.1 bouteilles kit GPL type cylindrique.....	42
2.3.2.1.1 Les accessoires du réservoir.....	43
2.3.2.2 réservoirs kit GPL type torique.....	47
2.3.2.3 Accessoires fixés sur le réservoir.....	49
2.3.2.4 Carter de protection du réservoir.....	50
2.4 Conclusion.....	51

Chapitre III: Etude d'espace d'installation kit GPL d'une voiture

3.1 Introduction	51
3.2 Principe de fonctionnement.....	53
3.2.2 Les limites techniques.....	55
3.2.3 La responsabilité de l'installateur.....	55
3.3 Choix de six (4) modèles de voitures connu en Algérie.....	59
3.4 Conclusion.....	61

Chapitre IV : Analyse et résultats obtenue et recommandation

4.1 Introduction.....	62
4.2 Description du réservoir.....	62
4.3 La création des différentes parties du réservoir.....	62
4.3.1 La partie cylindre du réservoir.....	62
4.3.2 La création de l'embouti du réservoir.....	64
4.4 Modélisation de la structure avec le logicielle ANSYS.....	66
4.4.1 Etapes de réalisation du modèle éléments finis.....	66
4.4.2 Spécification des propriétés des matériaux.....	67
4.4.3 Géométrie.....	68
4.4.4 Le maillage.....	69
4.4.5 Application de la pression.....	71
4.5 Résultat.....	71
4.5 .1 Contrainte équivalente (Von-mises).....	71
4.5 .2 Le déplacement.....	71
4.5 .3 La déformation élastique équivalente.....	73
4 .6 Conclusion.....	74
Conclusion générale.....	75

Annexes.

Bibliographie

Webographie

Annexes

Annexe 1 : diagramme fer-Carbone

Annexe 2 : débit de propane en KWh selon la pression et le diamètre de l'injecteur

Annexe 3 : masse de propane consommée par heure selon le diamètre de l'injecteur pour une pression maxi de 1.65 bar

Annexe 4 : Résistance au choc (essai Charpy) des aciers

Annexe 5 : normes correspondant a l'acier de construction métallique E36

Liste des figures

Fig1.1 : Bleu pour le butane.....	6
Fig1.2 : rouge pour le propane.....	6
Fig1.3 : bouteille 13kg butane.....	6
Fig1.4 Le Cube.....	7
Fig1.5 : bouteille 13 kg.....	7
Fig1.6 : bouteille 35 kg propane.....	8
Fig1.7 : Bouteilles nouveau design.....	9
Fig1.8 : robinet à volant et le chapeau.....	10
Fig1.9 : L'ensemble des règles techniques applicables sont contenues dans le DTU 61.1.....	12
Fig1.10 : embouti inférieur B.6 kg.....	19
Fig1.11 : le pied.....	20
Fig1.12 : anse.....	20
Fig.1.13 : La Collerette.....	20
Fig1.14 : méthode de soudage.....	21
Fig1.15 : banc d'épreuve hydraulique.....	23
Fig.16 : a .b. c: cylindre à paroi mince soumis à la pression interne.....	24
Fig1.17-a-b : cylindre déroulé.....	25
Fig.2.1 : Produits issus de la distillation du pétrole brut.....	32
Fig.2.2 : Mesures comparatives d'émissions de CO. HC. NOx.....	35
Fig.2.3 : taux d'émission de CO2 g eq/MJ.....	36
Fig.2.4 : Evolution de l'offre mondiale des GPL par région (2000 - 2012).....	38
Fig.2.5-1 : Bouteille GPL Aluminium.....	38
Fig.2.5-2 : Bouteille GPL Aluminium.....	39
Fig.2.6 : Kit de remplissage externe simple pour remplissage de bouteille GPL à l'extérieur du véhicule.....	40
Fig.2.7 : Filtre à gaz haute pression Borel.....	40
Fig.2.8 : Gabarit adhésif facilitant grandement le perçage 28mm.....	40
Fig.2.9: Mise en place de la coupelle de remplissage sur la carrosserie4 vis Inox 5x50mm+ Adaptateur.....	41
Fig.2.10 : Premier remplissage ok > 20.9L arrêt automatique, la jauge a fait un tour complet.....	42
Fig2.11 : Un réservoir de forme cylindrique.....	40
Fig.2.12 : châssis pour un réservoir cylindrique.....	43
Fig.2.13 : la polyvanne (vue de face).....	44
Fig.2.14 : la polyvanne (vue de profil).....	44

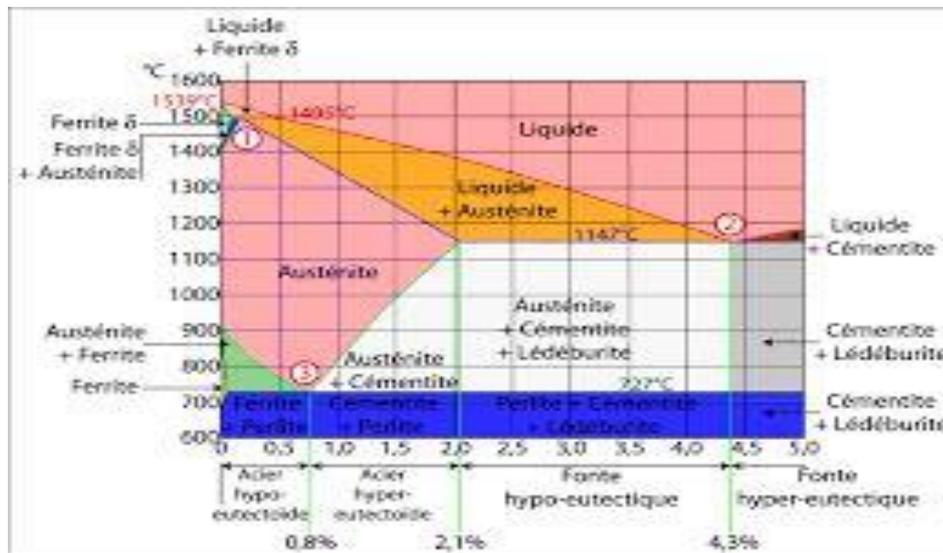
Fig.2.15 : Le boîtier d'aération.....	45
Fig.2.16: Les tubes biseautés.....	46
Fig.2.17 : réservoir torique.....	46
Fig.2.18: Modèles de dispositif de remplissage.....	47
Fig.2.19 : modèle vaporiseur/détendeur.....	47
fig.2.20: les injecteurs.....	48
Fig.2.21 : Réservoir avec Plaque.....	49
Fig.2.22 : Réservoir avec modèle de polyvanne.....	49
fig.2.23 Réservoir avec polyvanne et soupape séparée.....	50
Fig.2.24: Carter de protection du réservoir.....	50
Fig.3.1 : installation du kit GPL.....	57
Fig.3.2 réservoir essence/reverdoir GPL.....	58
Fig.3.3-1-2-3-4 Choix de six (4) modèles de voitures connu en Algérie.....	59
Fig4.1 : esquisse de la tôle du cylindre.....	63
Fig4.2 : La forme 3D de la tôle du cylindre.....	63
Fig.4.3 : utilisation de la fonction flexion.....	64
Fig4. 4 : l'esquisse de l'emboutie.....	64
Fig4.5 : La forme 3D de l'emboutie.....	65
Fig4. 6 : coquage de l'emboutie.....	65
Fig4.7 : assemblage du réservoir.....	66
Fig4.8 : Choix du système d'analyse.....	67
Fig4.9 : Edition et ajout des paramètres matériaux.....	68
Fig4.10 : importation de la géométrie.....	68
Fig4.11: La case modèle.....	69
Fig4.12 : Menu de maillage.....	69.
Fig4.13 : maillage du réservoir.....	70
Fig4.14 : choix des conditions limite.....	70
Fig4.15: l'emplacement de la pression.....	71
Fig4.16 : distribution des contraintes équivalentes.....	71
Fig4.17 : zoom sur la zone dangereuse.....	72
Fig4.18 : distribution des contraintes équivalentes.....	72
Fig4.19 : le déplacement total.....	73
Fig4.20 La déformation élastique équivalente.....	73
Fig4.21 : zoom sur la zone maximale.....	74

Liste des tableaux :

Tab1.1 : Caractéristiques des bouteilles de butane et de propane usuelles.....	8
Tab1.2 : Nouvelles générations de bouteilles.....	11
Tab1.3 : Débit des bouteilles de BUTANE.....	12
Tab1.4 : Débit moyen d'une bouteille de 13 Kg propane.....	13
Tab1.5 : Débit moyen d'une bouteille de 35 Kg propane.....	13
Tab1.6 : compositions chimiques tôle BS2.....	16
Tab1.7: caractéristiques mécaniques BS2.....	17
Tab1.8: composition du métal d'apport.....	19
Tab.1.9: analyse chimique de la coulée BS2.....	27
Tab1.10 : comparaison entre caractéristiques tôle BS2 et résultats essai à 30 bars.....	27
Tab.2.1 : Décomposition molaire des GPL.....	31
Tab.2.2 : composition.....	33
Tab.2.3 : la viscosité.....	33
Tab.4.1 : caractéristiques mécaniques de l'acier E36.....	62
Tab.4.2: Le nombre total d'éléments et de nœuds.....	66

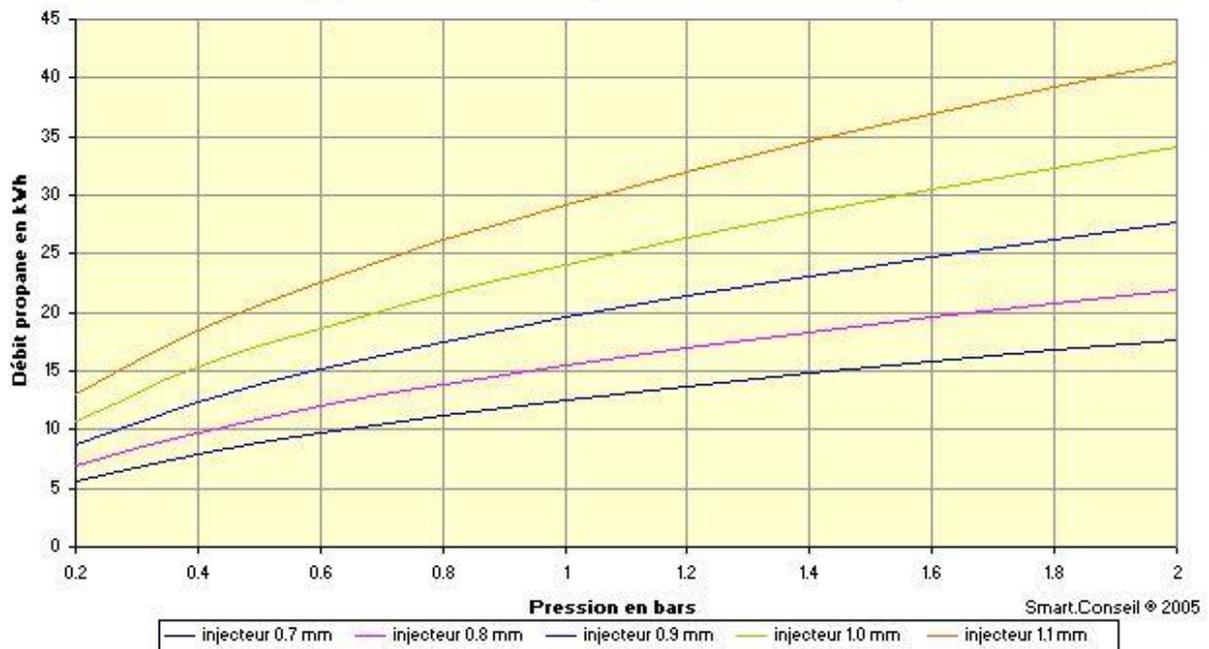
Annexes

Annexe 1 : diagramme fer-Carbone :

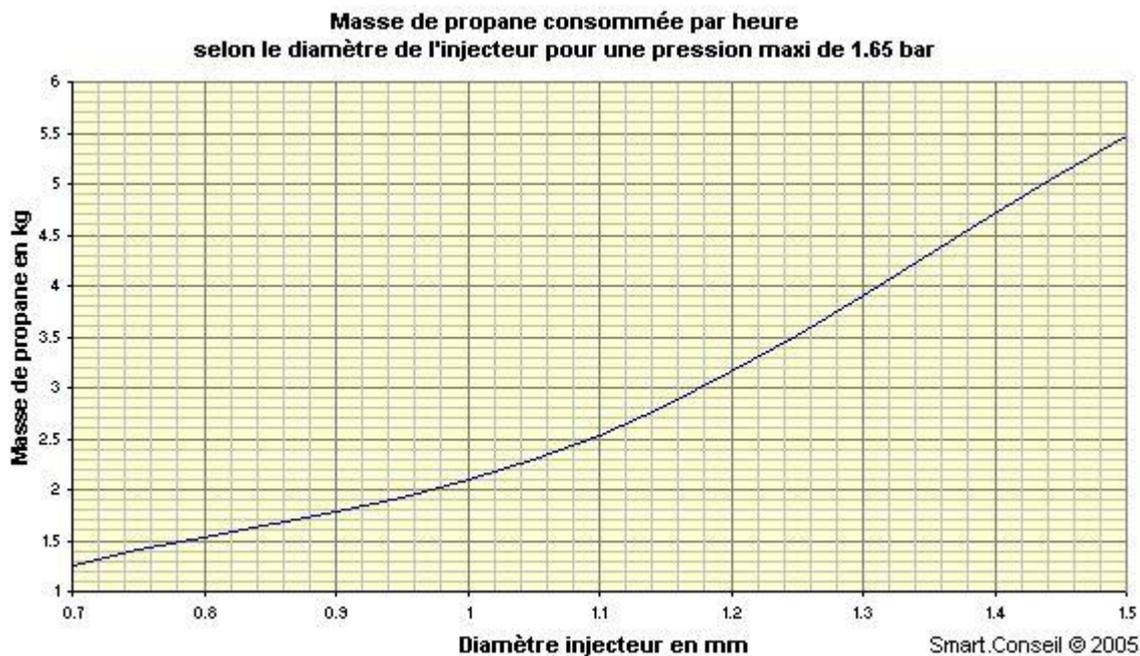


Annexe 2 : débit de propane en kWh selon la pression et le diamètre de l'injecteur

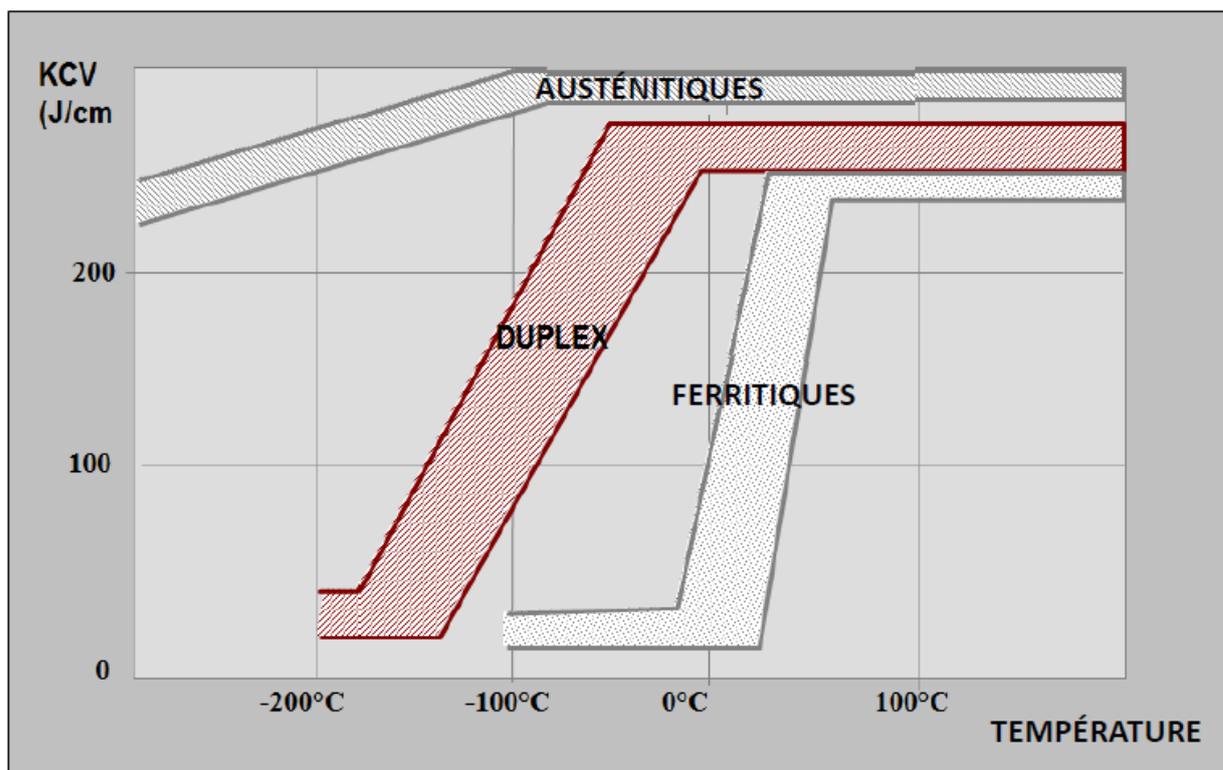
Débit de propane en kWh selon la pression et le diamètre de l'injecteur



Annexe 3 : masse de propane consommée par heure selon le diamètre de l'injecteur pour une pression maxi de 1.65 bar



Annexe 4 : Résistance au choc (essai Charpy) des aciers



Annexe 5 : normes correspondant à l'acier de construction métallique E36.

Correspondance des normes ACIERS DE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

Laminés à chaud

LIMITE D'ÉLASTICITÉ * MPa	Désignation selon EN 10025-2 : 2004		Désignation selon EN 10025 : 1990 +A1 : 1993		France NF A 35-501	Allemagne DIN 17100
	Symbolique	Numérique	Symbolique	Numérique		
	NF EN 10025 NF EN 10027-1	NF EN 10025 NF EN 10027-2	NF EN 10025 NF EN 10027-1	NF EN 10025 NF EN 10027-2		
185	S185	1.0035	S185	1.0035	A33	St33
235	-	-	S235JR	1.0037	E24-2	St37-2
	-	-	S235JRG1	1.0036	-	USt37-2
	S235JR	1.0038	S235JRG2	1.0038	-	RSt37-2
	S235J0	1.0114	S235J0	1.0114	E24-3	St37-3U
	S235J2+N	1.0117+N	S235J2G3	1.0116	E24-4	St37-3N
	S235J2	1.0117	S235J2G4	1.0117	-	-
275	S275JR	1.0044	S275JR	1.0044	E28-2	St44-2
	S275J0	1.0143	S275J0	1.0143	E28-3	St44-3U
	S275J2+N	1.0145+N	S275J2G3	1.0144	E28-4	St44-3N
	S275J2	1.0145	S275J2G4	1.0145	-	-
355	S355JR	1.0045	S355JR	1.0045	E36-2	
	S355J0	1.0553	S355J0	1.0553	E36-3	St52-3U
	S355J2+N	1.0577+N	S355J2G3	1.0570	-	St52-3N
	S355J2	1.0577	S355J2G4	1.0577	-	-
	S355K2+N	1.0596+N	S355K2G3	1.0595	E36-4	-
	S355K2	1.0596	S355K2G4	1.0596	-	-
295	E295	1.0050	E295	1.0050	A50-2	St50-2
335	E335	1.0060	E335	1.0060	A60-2	St60-2
360	E360	1.0070	E360	1.0070	A70-2	St70-2

Patinables laminés à chaud

LIMITE D'ÉLASTICITÉ * MPa	Désignation Européenne Actuelle		Correspondances			
	Selon EN 10025-5 : 2004		Selon EN 10155 : 1993		NF A 35-502	DIN SEW 087
	NF EN 10027-1	NF EN 10027-2	NF EN 10027-1	NF EN 10027-2		
235	S235J0W	1.8958	S235J0W	1.8958	E24W3	WTST37-2
	S235J2W	1.8961	S235J2W	1.8961	E24W4	WTST37-3
355	S355J0WP	1.8945	S355J0WP	1.8945	E36WA3	WTST36-3
	S355J2WP	1.8946	S355J2WP	1.8946	E36WA4	WTST36-3
	S355J0W	1.8959	S355J0W	1.8959	E36WB3	-
	S355J2W+N	1.8965+N	S355J2G1W	1.8963	-	WTST52-3
	S355J2W	1.8965	S355J2G2W	1.8965	E36WB4	-
	S355K2W+N	1.8967+N	S355K2G1W	1.8966	-	-
	S355K2W	1.8967	S355K2G2W	1.8967	-	-

Bibliographie :

- [1] ISO 32, Bouteilles à gaz pour usages médicaux — Marquage pour l'identification du contenu
- [2] ISO 9606-1, Qualification des soudeurs — Soudage par fusion — Partie 1: Aciers
- [3] ISO 10286, Bouteilles à gaz — Terminologie
- [4] ISO 10298, Détermination de la toxicité d'un gaz ou d'un mélange de gaz
- [5] ISO 11114-1, Bouteilles à gaz transportables — Compatibilité des matériaux des bouteilles et des robinets avec les contenus gazeux — Partie 1: Matériaux métalliques
- [6] ISO 11114-2, Bouteilles à gaz transportables — Compatibilité des matériaux des bouteilles et des robinets avec les contenus gazeux — Partie 2: Matériaux non métalliques
- [7] ISO 15607, Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques — Règles générales
- [8] ISO 80000-4, Grandeurs et unités — Partie 4: Mécanique
- [9] ASTM E165, Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry
- [10] ASTM E273, Standard Practice for Ultrasonic Examination of the Weld Zone of Welded Pipe and Tubing
- [11] ASTM E390, Standard Reference Radiographs for Steel Fusion Welds
- [12] ASTM E709, Standard Guide for Magnetic Particle Testing
- [13] ASTM E1312, Standard Practice for Electromagnetic (Eddy-Current) Examination of Ferromagnetic Cylindrical Bar Product Above the Curie Temperature
- [14] ASTM E2261, Standard Practice for Examination of Welds Using the Alternating Current Field Measurement Technique
- [15] ASME B31.3, Process Piping

- [16] EN 1290, Contrôle non destructif des assemblages soudés — Contrôle par magnétoscopie des assemblages soudés.
- [17] EN 1291, Contrôle non destructif des assemblages soudés — Contrôle par magnétoscopie des soudures — Niveaux d'acceptation
- [18] EN 1593, Essais non destructifs — Contrôle d'étanchéité — Contrôle à la bulle
- [19] EN 1779, Essais non destructifs — Contrôles d'étanchéité — Critères de choix de la méthode et de la technique
- [20] EN 13133, Brasage fort — Qualification des braseurs en brasage fort
- [21] EN 13134, Brasage fort — Qualification de mode opératoire de brasage fort
- [22] Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)
- [23] Règlement type de l'ONU

WEBOGRAPHIE :

http://www.gvf.com/de/company_5/documents/03_robinetsfiltres_f.pdf
www.norgren.com/excelonpro
www.moteurpneu.pdf
<http://www.hydreliis.fr/telecharger.php>
[www. Métaux-detel.com](http://www.Metall.com)
http://fr.wikipedia.org/wiki/Acier_inoxydable
http://en.wikipedia.org/wiki/Stainless_steel
www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/acc.htm
[www.minefe.gouv.fr/directions_services/dgccrf/securite/produits_alimentaires/materiaux_contact/a
cier_inoxydable.htm](http://www.minefe.gouv.fr/directions_services/dgccrf/securite/produits_alimentaires/materiaux_contact/acier_inoxydable.htm)

1.1 Introduction :

Les bouteilles (1 à 35 kg) sont utilisées par le plus grand nombre. Leurs usages sont variés et leurs caractéristiques sont définies par une réglementation très stricte.

Elles répondent à des codes de couleur selon les distributeurs.

Depuis quelques années, sont apparues des bouteilles de 5 ou 6 kg et de nouveaux matériaux, plus ergonomiques et plus modernes.

1.2 Historique

Les secteurs du pétrole et du gaz n'ont développé que tardivement l'industrie des GPL, les gaz butane et propane. Leur histoire débute avec celle du XXe siècle. Au tout début de la production d'essence, un des problèmes rencontrés était la rapide évaporation du produit une fois stocké. En 1911, un chimiste américain, Walter Snelling, démontra que la présence de propane et de butane dans l'essence était à l'origine de l'évaporation. Il développa rapidement une méthode pour séparer ces gaz de l'essence.

La première production de GPL pour leur utilisation remonte aux années 20 et il faut attendre les années 50 pour les échanges commerciaux d'envergure. L'utilisation des GPL n'a vraiment commencé que dans les années 40.

Dès 1932, une grande compagnie pétrolière le **Comité Français du Butane et du Propane** (cfbp) introduit les GPL en France.

Au début des années 50, des entreprises remplissaient des bouteilles de GPL à usage domestique en les commercialisant sous licence chez des revendeurs.

La croissance alla de paire avec les capacités de raffinage. Capacités qui furent augmentées dans les années 60 alors que de nouvelles raffineries étaient construites et que le fuel remplaçait le charbon comme combustible industriel. Les ventes de GPL en Europe passèrent de 300 000 tonnes en 1950 à 3.000.000 de tonnes en 1960 puis à 11 millions en 1970.

Avant les années 70, la commercialisation des GPL était essentiellement une activité régionale, chaque secteur géographique ayant ses propres structures de prix, expéditions, acheteurs et vendeurs. La première transaction d'envergure a eu lieu dans les années 1950, des États-Unis vers l'Amérique du Sud. La crise pétrolière de 1973 a marqué un tournant. Après avoir réalisé que les exportations de GPL pourraient générer un important retour sur investissement, de nombreux pays pétroliers construisirent les infrastructures pour les GPL.

L'expansion de la capacité de production de GPL au Moyen-Orient au cours de la décennie 1975- 1985 fut réellement impressionnante – passant d'un total de 6 millions de tonnes de capacité existante en 1975 à 17 millions en 1980 et 30 millions en 1985.

Le Moyen-Orient ne fut pas la seule région d'implantation d'usines GPL. L'Australie, l'Indonésie, l'Algérie, la mer du Nord, et le Venezuela représentaient également de nouvelles sources d'approvisionnement.

Les années 1980 se révélèrent être une période d'expansion considérable des exportations de GPL dans le monde. Le marché des GPL devint véritablement international à cette époque. Les producteurs avaient besoin de d'acheteurs, qu'ils soient en Asie, en Europe, aux États-Unis ou en Amérique du Sud. Les nouveaux volumes à l'exportation devaient trouver de nouveaux débouchés.

1.3 Définitions :

1.3.1. Le propane :

Le propane est un alcane linéaire de formule C_3H_8 .

Il est dérivé d'autres produits pétroliers par des processus de thermochimie de gaz ou de pétrole. Il est couramment utilisé comme source d'énergie chimique par combustion dans les moteurs à combustion interne, barbecues et chaudières.

Généralement vendu à l'état liquide, sous forme de GPL notamment (c'est l'un de ses constituants principaux). Un additif, l'éthanthiol, est utilisé comme odorant pour signaler les fuites éventuelles.

1.3.2 Le butane :

Le butane est un hydrocarbure saturé de la famille des alcanes et de formule brute C_4H_{10} . Il existe sous deux formes isomères, le *n*-butane et l'isobutane ou 2-méthylpropane.

1.3.3. Bouteille de gaz :

On appelle généralement bouteille de gaz ou bouteille sous pression, un récipient ou réservoir sous pression, métallique ou pour l'alléger, en matériau composite, de forme cylindrique, plus ou moins allongé, conçu pour contenir un gaz à une pression nettement différente de la pression ambiante.

1.4 Matériau utilisé :

Les conduites, raccords, flexibles de raccordement et éléments de robinetterie doivent être composés de matériaux compatibles avec le gaz utilisé et résister aux sollicitations auxquelles ils seront soumis.

Les matières et matériels susceptibles d'entrer en contact avec le gaz doivent être compatibles avec ce dernier et ne pas réagir dangereusement avec lui.

Exemples de matériaux appropriés :

- Matériaux incombustibles pour les gaz inflammables
- Acier pour l'acétylène (le cuivre et ses alliages à plus de 70 % de cuivre sont inadmissibles pour l'acétylène)
- Matières plastiques spéciales pour l'ammoniac et le chlore, p. ex. dans les zones à faible risque d'incendie

- Flexibles à haute pression en caoutchouc ou en matière plastique pour le matériel de soudage aux gaz selon **SN EN ISO14113**

1.5 Différents types de bouteilles :

Traditionnellement, le butane et le propane sont mis à disposition des utilisateurs dans des bouteilles construites en tôle d'acier de qualité et d'épaisseur soigneusement contrôlées et protégées contre les risques de corrosion.

En règle générale, ces bouteilles contiennent 6 ou 13 kg de produit pour le butane, 5, 13, 30 ou 35 kg pour le propane.

Cependant, pour répondre à l'attente de leur clientèle, les adhérents du CFBP ont mis sur le marché à partir de 2006 des bouteilles plus légères, d'une contenance de 10 kg, en matériau composite ou en tôle mince.

Le détendeur est utilisé pour faire varier la pression du gaz de l'intérieur de la bouteille à sa sortie vers le tuyau de raccordement afin de garantir une utilisation en toute sécurité.

En effet, le gaz est stocké sous haute pression dans la bouteille mais sortira à une pression plus faible dans le tuyau de raccordement. Le détendeur de gaz n'est pas le même pour une bouteille de butane ou propane, il varie également en fonction de la capacité de la bouteille (capacité en kg).

Les détendeurs servent à réduire la pression d'une source de gaz d'une bouteille ou d'une canalisation à un niveau de pression qui permet d'utiliser le gaz en sécurité.

- Butane : 1300g/h ou 2600 g/h de débit à 28 mbar de pression
- Propane : débit à 37 mbar de pression Il existe des manodétendeurs propane pour des utilisations spécifiques.

a. Viséo butane :

Ce type de bouteille utilisé pour appareils de jardin (barbecue, plancha, parasol chauffant...)

Caractéristiques techniques de cette recharge butane :

Le détendeur Quick-on 28mbar est fourni en cas de consigne. Il permet de connecter la bouteille de manière rapide et extrêmement simple. Surtout, il est gage de sécurité pour le raccordement entre la bouteille et n'importe quel appareil au gaz.

Type : Butane.

Pression : 30 bars

Contenance : 10 kg.

Quantité d'énergie disponible (Pouvoir Calorifique Supérieur) : 137 kW.

Dimensions du produit : 50.2 x 30 x 6 cm.



Fog.1.1 : Bleu pour le butane



fig1.2 : rouge pour le propane

b. Bouteille 13 kg butane :

Une bouteille de gaz mais pas des moindres : 13 kg de polyvalence et d'économie. Economique parce que seulement 3 à 4 bouteilles de gaz 13 kg par an suffisent pour une famille de 4 personnes.

Autant de bonnes raisons de l'adopter.

Le détendeur Butane 28 mbar (type 717 BT) avec une tétine à raccorder à un tube souple avec colliers de serrage (validité 5 ans), ou sans tétine à raccorder à un tuyau flexible à embouts mécanique. Le détendeur de la Butane 13kg est de la même couleur que votre bouteille (bleu marine ou gris).

Pression : 30 bars

Quantité de gaz : 13 kg

Poids total bouteille pleine : 24 kg

Dimensions : hauteur 60 cm, diamètre 29 cm

Stockage : intérieur principalement.



Fig1.3 : bouteille 13kg butane

c. Le Cube propane :

Cette bouteille présente plusieurs caractéristiques intéressantes qui la rendent assez simple d'utilisation.

Le détendeur Propane 37 mbar (type 717 P) est raccordé à un tuyau flexible à embouts mécaniques uniquement

Le Cube propane est facile à transporter : ne renfermant que 5 kg de gaz, cette bouteille est également équipée d'une poignée moulée dans sa partie supérieure. La conception de cette bouteille de gaz est la plus résistante au choc et à la rouille.



Pression : 30 bars.

Quantité de gaz : 5kg

Fig1.4 Le Cube propane

d. bouteille 13 kg propane :

Utilisé pour Cuisine, chauffage, eau chaude à l'intérieur comme à l'extérieur mais toujours stockée à l'extérieur

Les caractéristiques techniques de la bouteille de gaz Propane 13 kg.

Le détendeur Propane 37 mbar (type 717 P) est raccordé à un tuyau flexible à embouts mécaniques uniquement. Le détendeur de la bouteille propane 13kg est de la même couleur que votre bouteille (vert).

Pression : 30 bars

Quantité de gaz : 13 kg :

Poids total bouteille pleine : 27.5 kg

Dimensions : hauteur 60 cm, diamètre 29 cm

Stockage : à l'extérieur



fig1.5 : bouteille 13 kg propane

e. bouteille 35 kg propane :

La solution pour le chauffage et la cuisine d'un restaurant, d'une collectivité, ou d'une famille nombreuse en toute tranquillité.

Le détendeur Propane 37 mbar (type 717 P) est raccordé à un tuyau flexible à embouts mécaniques uniquement

Pression : 30 bars.

Quantité de gaz : 35 kg.

Poids total bouteille pleine : 70.5 kg.

Dimensions : hauteur 144 cm, diamètre 29 cm.

Stockage : à l'extérieur.



Fig1.6 : bouteille 35 kg propane

1.6 Caractéristiques :

1.6.1 Caractéristiques des bouteilles de butane et de propane usuelles :

Tab1.1 : Caractéristiques des bouteilles de butane et de propane usuelles

Butane				Propane			
Quantité de gaz	6 kg	10 kg	13 kg	5 kg	13 kg	30 kg	35 kg
Poids total approximatif	13,5 kg	16,5 kg	24 kg	12,5 kg	27,5 kg	62,5 kg	70,5 kg
Diamètre extérieur	300 mm	300/311 mm	306 mm	300 mm	310 mm	300 mm	306 mm
Hauteur totale	365/280 mm	478/585 mm	560 mm	355/280 mm	615 mm	1 250 mm	1 470 mm

1.6.2 Bouteilles nouveau design :

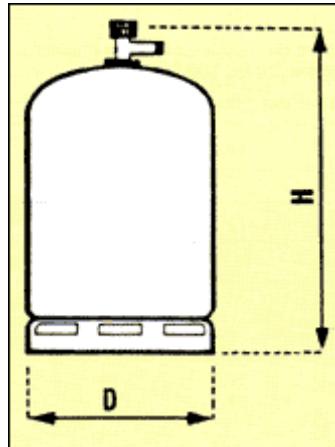


Fig1.7 : Bouteilles nouveau design

Le poids de butane ou de propane dans une bouteille de 13 kg représente une énergie d'environ : 647 MJ ou 179 kWh

pour une bouteille de 35 kg : 1750 MJ ou 485 kWh

1.6.3 Les accessoires des bouteilles :

Traditionnellement, les bouteilles sont équipées d'un robinet à volant et d'un chapeau destiné à protéger le robinet et à faciliter la manutention de la bouteille. Après emplissage, une capsule de sécurité ou un écrou vient faire étanchéité sur le nez du robinet ou le joint auto-serreur.

La capsule remplit également le rôle de garantie commerciale puisqu'une fois enlevée, elle ne peut pas être remise en place. Le nez du robinet est équipé d'un filetage « à gauche », sécurité gaz, pour visser seulement du matériel spécifique gaz (« pas de vis à gauche ») - le détendeur en règle générale. Le limiteur de débit est un accessoire de sécurité qui interdit un épanchement massif de gaz en cas de sectionnement du flexible de raccordement.

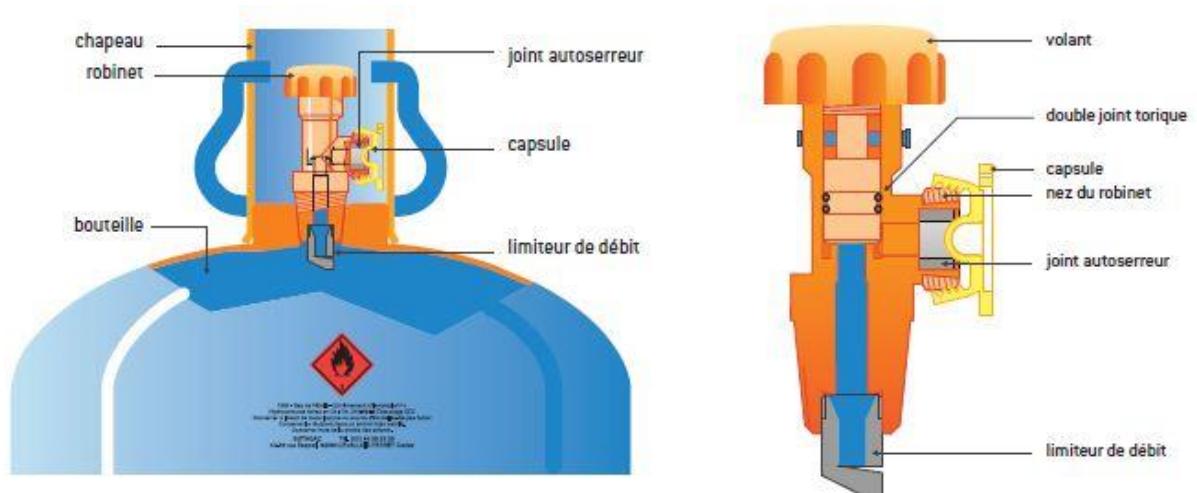


Fig1.8 : robinet à volant et le chapeau

Les nouvelles générations de bouteilles sont équipées d'une valve avec raccordement au détendeur par clip. La valve présente plusieurs avantages par rapport au robinet :

- facilité de connexion du détendeur,
- sécurité renforcée, la valve ne pouvant être ouverte si elle n'est pas connectée,
- simplification du processus d'emplissage ; contrairement au robinet qu'il faut orienter pour que le nez soit positionné face à la machine, la valve est accessible à 360°,
- protection : les poignées de préhension de la bouteille protègent la valve contre les chocs.

La valve ne pouvant pas être ouverte tant qu'elle n'est pas connectée, il n'est pas nécessaire que la capsule assure l'étanchéité. Son rôle est de protéger la valve contre les salissures et d'assurer la garantie commerciale. La bouteille peut être équipée d'une soupape et/ou d'un joint fusible thermique (utilisé pour certaines bouteilles en matériau composite). La soupape est destinée à protéger la bouteille en cas de sur emplissage, en permettant au gaz de s'échapper lorsqu'il y a dilatation thermique du produit. Ce dispositif n'est nécessaire que pour les bouteilles qui présentent de faibles capacités d'expansion volumétrique (matériau composite ou tôle mince).

Le rôle du fusible thermique est d'empêcher la rupture d'une bouteille prise dans un incendie. Contrairement à la soupape qui se referme après avoir purgé l'excédent de gaz, la totalité du contenu de la bouteille est mis à l'atmosphère lors du fonctionnement du fusible thermique. Ce genre d'équipement est donc réservé à des conceptions particulières de bouteilles.

Tab1.2 : Nouvelles générations de bouteilles

Bouteilles traditionnelles	Nouvelles générations de bouteilles
Robinet	Valve
Chapeau	Poignées de préhension / galerie
Capsule ou écrou de sécurité	Capsule de garantie commerciale
Limiteur de débit	Limiteur de débit (selon les bouteilles)
	Soupape (selon les bouteilles)
	Fusible thermique (sur certaines bouteilles en matériau composite)

A noter :

- le filetage du nez du robinet est en général standardisé pour toutes les bouteilles distribuées en France, ce qui permet d'utiliser le même type de détendeur quelle que soit la marque de la bouteille,
- ce n'est pas le cas pour les valves qui équipent les bouteilles nouvelles génération et les distributeurs fournissent en général le détendeur adapté,
- même si depuis le 1er juillet 2003 toutes les bouteilles mises sur le marché français sont des bouteilles européennes, les dimensions des connectiques robinet ou valve / détendeur ne sont pas harmonisées et les dimensions des valves ou des filetages des robinets des bouteilles distribuées hors de France ne sont pas les mêmes que celles des bouteilles distribuées en France.

1.7 Règles d'installation :

Le stockage des bouteilles est soumis à des exigences de sécurité.

- les bouteilles de butane peuvent être, sous certaines conditions, stockées à l'intérieur des locaux
- les bouteilles de propane d'une contenance supérieure à 6,5 litres doivent être placées à l'extérieur des locaux d'habitation, posées sur une aire stable, horizontale, qui ne doit pas être encastrée dans le sol environnant sur plus de 75 % de son périmètre.

Quel que soit le niveau où elles sont placées, les bouteilles doivent être éloignées d'au moins 1 m des ouvertures des locaux situées au même niveau ou en contrebas, ainsi que des bouches d'égout non protégées par un siphon.

Lorsque cet éloignement n'est pas réalisable, on interpose, entre les récipients et les ouvertures à protéger, un muret faisant une saillie d'au moins 0,50 m et dépassant de 0,20 m en hauteur l'axe de la rampe de raccordement ou les raccords d'entrée du coupleur-inverseur.

La paroi doit être en matériaux imputrescibles, résistant aux chocs et non inflammables (M 1). Si l'emplacement ainsi constitué est en plein air, les robinets et autres accessoires du poste de bouteilles doivent être protégés contre les chocs et les intempéries par un capot ou un auvent.

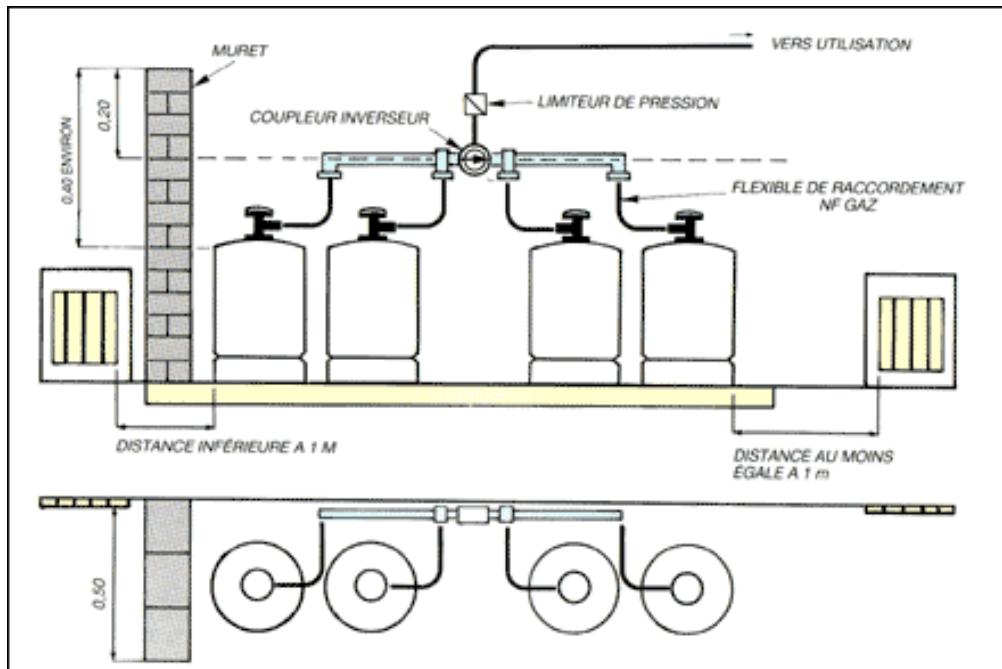


Fig1.9 : L'ensemble des règles techniques applicables sont contenues dans le DTU 61.1.

1.8 Débits des bouteilles :

1.8.1 Débit des bouteilles de BUTANE :

Tab1.3 : Débit des bouteilles de BUTANE

BUTANE température des locaux	Débit moyen (en g/h) d'une bouteille de 13 Kg en fonction de la durée de service				
	15 mn	30 mn	1h	2 h	continue
En C°					
15	1750	1100	650	400	275
5	500	250	150	100	75

1.8.2 Débit des bouteilles de PROPANE :

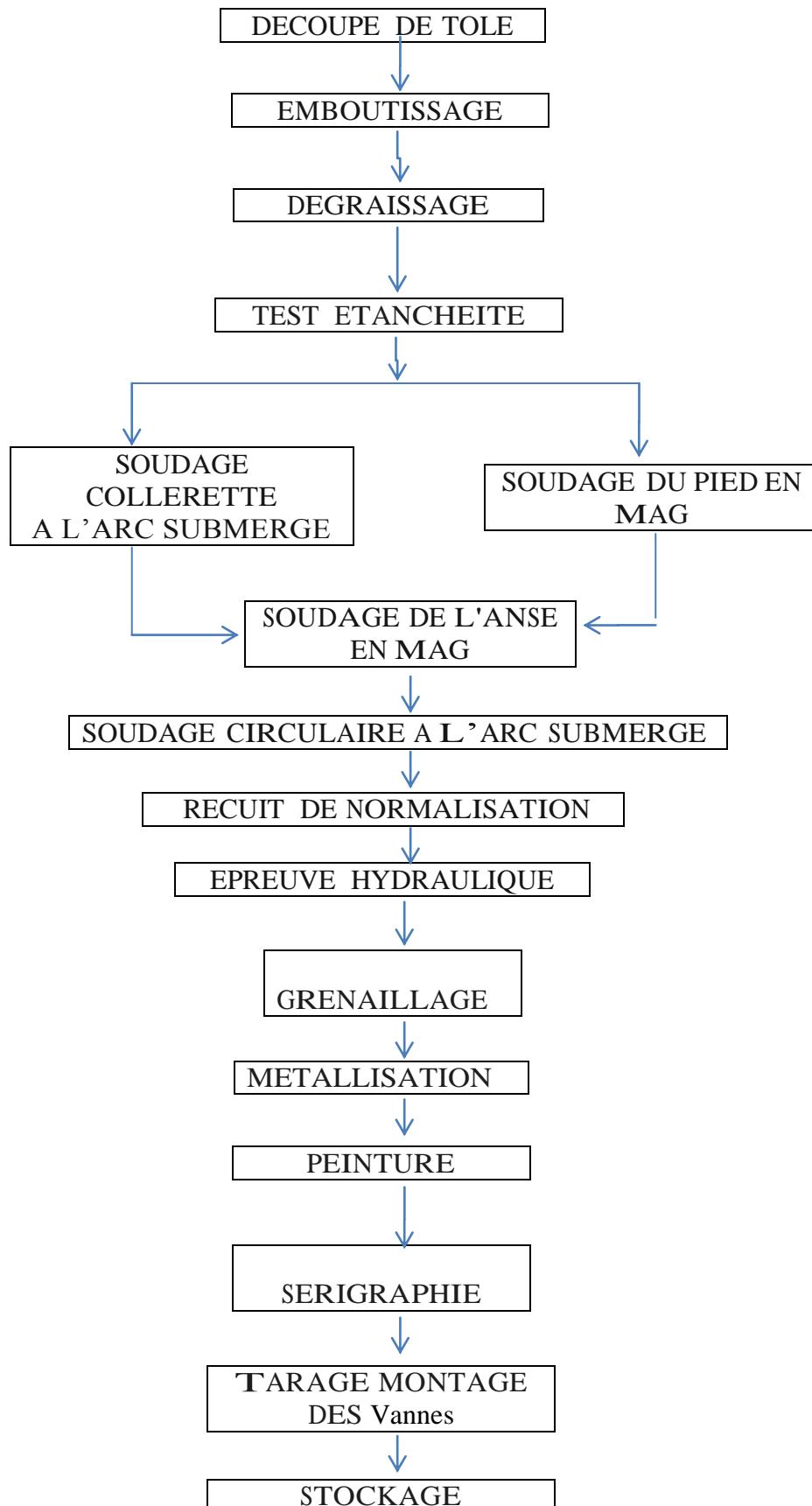
Tab1.4 : Débit moyen d'une bouteille de 13 Kg propane.

PROPANE température extérieure en C°	Débit moyen (en g/h) d'une bouteille de 13 Kg en fonction de la durée de service				
	15 mn	30 mn	1h	2 h	continue
10	5000	3500	2150	1300	900
5	4350	3250	1800	1150	760
-5	3200	2400	1250	800	520
-15	2500	1400	800	500	320

Tab1.5 : Débit moyen d'une bouteille de 35 Kg propane.

PROPANE température extérieure en C°	Débit moyen (en g/h) d'une bouteille de 35 Kg en fonction de la durée de service				
	15 mn	30 mn	1h	2 h	continue
10	10000	7500	4750	2800	1500
5	8000	7000	4000	2500	1300
-5	6500	5000	3000	1800	950
-15	6000	3000	1750	1100	570

1.9 Description du processus de fabrication de la bouteille 6 kg :



1.9.1 Caractéristiques techniques des bouteilles:

1.9.1 .1 Terminologie et description de la bouteille de type 6 kg :

La bouteille est composée des éléments ci-après :

- Embouti supérieur
- Embouti inférieur
- Pied de la bouteille
- Support de la bouteille
- Et la Valve.

1.9.1 .2 Caractéristiques de la bouteille :

Nature du gaz transporté	GPL(BUTANE)
Poids de la charge	6.0 kg
Diamètre extérieur	300 mm
Nuance acier emboutis	: BS2 conforme à la norme française NFA 36211
Nuance acier support	: E24
Nuance acier pied Nuance	: E24
collerette Pression de service	XC18 conforme à la norme française NFA35552 20 bars
Pression d'épreuve	: 30 bars
Essai de rupture	: 50 bars minimum 70 bars pour propane
Volume en eau	13,00 Litres minimum et 13, 50 Litres max
Hauteur totale	288 mm

1.9.1 .3 Caractéristiques des tôles :

Les tôles utilisées pour la fabrication des emboutis sont en acier de nuance BS2 ayant une bonne aptitude à l'emboutissage profond à froid. Elles sont découpées et exemptes

De pailles, soufflures, conques, gerçures, doublage ou tout autre défaut de surfaces préjudiciables à leur emploi.

Les caractéristiques chimiques et mécaniques sont déterminées pour chaque coulée et font l'objet d'un Certificat de Conformité fourni par l'usine productrice des tôles

a) Caractéristiques chimiques :

Les compositions chimiques de la tôle BS2 à la coulée et sur produit sont les suivantes :

Tab1.6 : compositions chimiques tôle BS2

Eléments	A la coulée	Sur Produit
Carbone	0, 19 % max.	0, 21 % max
Manganèse	0, 040 % max.	----
Phosphate	0, 035 % max.	0, 040 % max.
Silicium	0, 20 % max.	0, 25 % max.
Soufre	0, 035 % max.	0, 040 % max.

b) Caractéristiques Mécaniques :

Les bobines sont d'abord soumises à un contrôle visuel pour s'assurer de l'absence des défauts apparents cités plus haut avant emboutissage.

Ensuite, des éprouvettes de traction sont préparées à partir des tôles, suivant la norme NF-A03160.

Elles sont prélevées suivant la norme NF-A03151 dans le sens longitudinal (sens de laminage) et dans le sens transversal. Les résultats de l'essai de traction sont à leur tour confrontés aux normes et au Certificat de Conformité de l'usine.

Les caractéristiques mécaniques garanties à l'état normalisé sont les suivantes :

Tab1.7: caractéristiques mécaniques BS2

TOLE BS2	VALEURS
Résistance à la traction Limite d'élasticité Allongement	R = 410 à 490 $NI\ mm^2$ R e = 265 N/mm^2 A% = 24 % minimum

1.9.1.4 caractéristiques du métal d'apport :

La composition chimique du métal d'apport des soudures est sensiblement la même que celle de la tôle constituant le corps de la bouteille ; Les propriétés mécaniques de ce métal déposé, à l'état de recuit, ne sont pas inférieures à celles de la tôle.

La composition du métal d'apport, conformément à la norme française NF-M88 703, est comprise entre les fourchettes suivantes :

Tab1.8: composition du métal d'apport

Eléments	Fil de soudage
Carbone	0,05 à 0,14 %
Manganèse	0,40 à 2,20 %
Phosphore	0,03 % max.
Soufre	0,03 % max.
Silicium	0,10 % max.

1.9.1 .5 Caractéristiques de la collerette

La collerette est exécutée à partir d'une barre en acier de qualité XC 18 ; conforme à la norme : NF-A35 552.

Les caractéristiques chimiques sont également déterminées à chaque coulée et font

L'objet d'analyse, d'un contrôle SGS et d'un certificat de contre analyse fourni par l'usine productrice des barres en XC 18.

Usage de XC18 :

Propriétés :

Acier de construction non allié pour trempe et revenu Acier' doux de cémentation pour pièces non soumises aux chocs, mais nécessitant une bonne résistance superficielle. Utilisé également pour le traitement dans la masse.

Domaines d'application :

Pièces travaillant sans chocs : axes de pistons, arbres de pompes, pieds de bielles, arbres à cames. Après trempe directe et revenu : boulonnerie, visserie, tringles de commandes, leviers, manettes, douilles

Des analyses contradictoires sont bien entendu effectuées par un organisme tiers sur des échantillons de chaque coulée pour les confronter aux normes et au certificat de conformité de l'usine. Les lots non conformes sont écartés .

L'analyse chimique de la coulée doit avoir la composition suivante :

Tab1.9: analyse chimique de la coulée BS2

Eléments	Teneur
Carbone	0,16 à 0,22 %
Manganèse	0,40 à 0,70 %
Phosphore	0,15 à 0,35 %
Soufre	0,03 : S % max
Silicium	0,03 : S % max

1.9.2 Fabrication :

1.9.2.1 préparations des éléments constitutifs :

a) Les emboutis:

Les bobines sont découpées en plaques de 450X450X2.5. Chaque plaque est découpée en disque puis emboutie à froid en une seule opération pour donner les deux fonds de la bouteille



Fig1.10 : embouti inférieur B.6 kg.

b) Le Pied :

Les pieds sont obtenus à partir de tôles découpées en bande, puis poinçonnées, roulées, soudées et enfin formées (voir pages suivantes).



Fig1.11 : le pied

c) Le Support (aussi appelé anse):

Le support est également obtenu de la même façon que le pied en formant une bande de métal coupée.

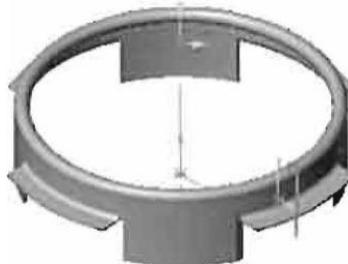


Fig1.12 : anse

d) La Collerette

La collerette est réalisée à partir de barres en acier XC 18 usinée grâce à des machines automatiques de tournage de type TA60, les filetages sont effectués avec une machine CRI DAN.



Fig.1.13 : La Collerette

e) La Valve :

Elle est composée des éléments suivants :

- La pièce maîtresse
- La cage à ressort
- Le ressort
- La bille
- Le joint torique
- Le joint à lèvre

e.1 La pièce maîtresse

Elle est obtenue à partir d'une barre en laiton de section hexagonale grâce à des tours automatiques de type TA 36. Elle est contrôlée de manière très rigoureuse du fait des cotes qui lui sont rattachées.

e.2 La cage à ressort

Elle est de même obtenue de la même façon que la pièce maîtresse à partir d'une barre de section circulaire par l'intermédiaire de tours automatiques de type TA36

e.3 Ressort, bille et joints

La valve est obtenue par une opération de sertissage qui réunit la cage à ressort à la pièce maîtresse (ressort, bille et joints compris dedans).

1.9.2.2 Le Marquage

Sur l'embouti supérieur se ront marqués :

En Relief (Le nom client)

En Creux SITRA

N° série de la bouteille

PE 30 bars

Butane 6kg

CAP 12,9 L

L'année de fabrication

En Peintre Le poids de la bouteille remplie

Et l'année de la ré-épreuve de la bouteille

Les marques en relief ne présentent aucun angle vif. La pénétration des marques en creux n'excède pas 0.20 mm de profondeur.

1.9.2.3 Soudage :

Le mode opératoire de soudage est homologué par le BUREAU VERITAS conformément aux exigences de la norme NF EN 288-3.

a) méthode :

Le pied et le support sont soudés par le procédé dit « MAG » en semi-automatique avec une pénétration de 40 % maximum.

La collerette est soudée par le même procédé.

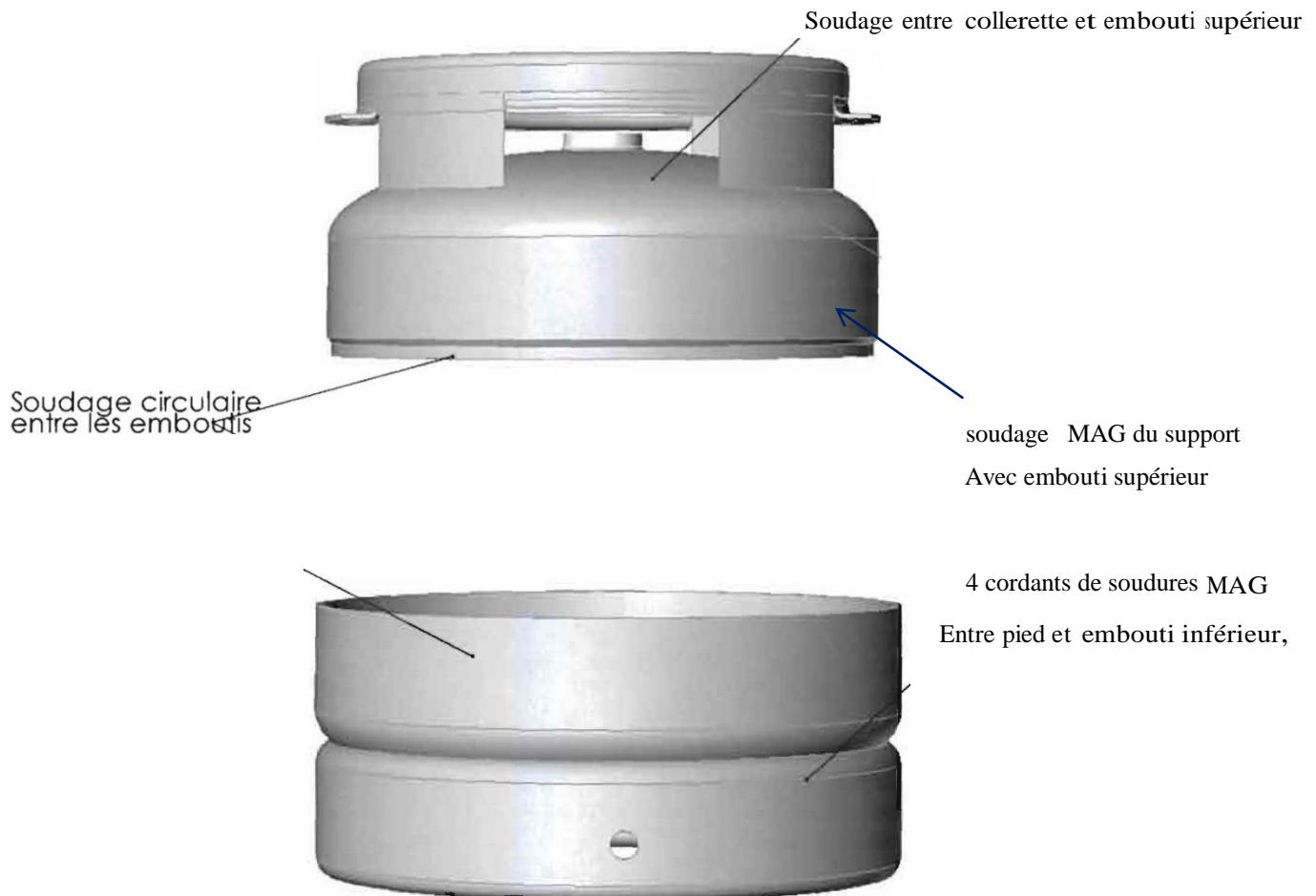


Fig1.14 : méthode de soudage

b) Contrôle de soudure :

Toutes les soudures sur la bouteille sont contrôlées au rayon X à raison de 2% par commande par une équipe spécialisée pour analyser tous les paramètres avant chaque production.

1.9.3 Recuit de normalisation

Les bouteilles subissent après soudage, un traitement de normalisation pendant lequel elles sont portées et maintenues à une température de 920 à 940 ° C, puis refroidies à l'air libre avant de subir une épreuve hydraulique.

La durée du maintien de la bouteille à cette température est de 5 à 10 minutes.

Le contrôle de la température du four est obtenu au moyen d'un pyromètre enregistreur.

1.9.4. Contrôle et essai :**1.9.4.1 épreuves hydrauliques :**

Après recuit et refroidissement complet, toutes les bouteilles sont soumises à une épreuve hydraulique conformément à la réglementation des appareils à pression de gaz.

Les bouteilles sont remplies d'eau et subissent une augmentation de pression grâce à un multiplicateur hydraulique air-eau, progressivement Jusqu'à 30 bars. Cette pression est maintenue le temps nécessaire pour que le contrôleur puisse constater l'absence d'éventuelles fuites. Puis elles sont vidées par une propulsion d'air jusqu' à séchage.

Cette épreuve hydraulique est réalisée sous le contrôle de l'expert mandaté par le client ou par l'organisme officiel (le Service des Mines) dans le cas présent, l'agent apposera son poinçon sur la partie réservée à cet effet.



Fig1.15 : banc d'épreuve hydraulique.

**a- Etude théorique du comportement de la bouteille B6 kg
soumis à la pression de 30 bars :**

Supposons que la bouteille est un cylindre à paroi mince fermé contenant un fluide sous pression qui est une des applications intéressantes du chargement uniaxiale.

Dans cette étude du cylindre à paroi mince, on suppose principalement que la contrainte est uniforme dans toute l'épaisseur (t) de la paroi. Cette hypothèse se justifie dans la mesure où l'épaisseur (t) est beaucoup plus petite que le rayon (r). La solution est d'autant plus exacte que le rapport t/r tend vers zéro.

En pratique on considère que le cylindre est à paroi mince si t/r vaut $1/10$ ou moins.

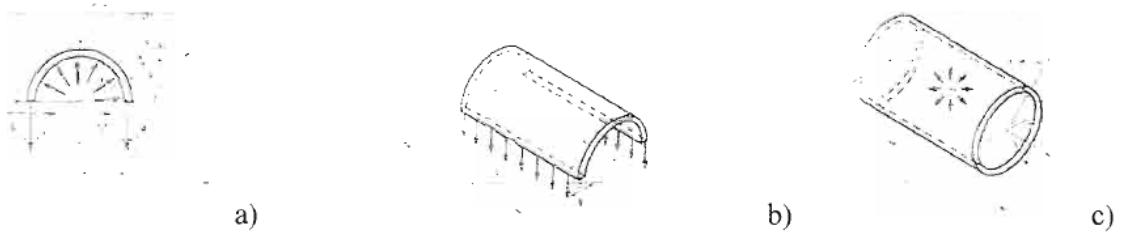


Fig.16 : a. b. c: cylindre à paroi mince soumis à la pression interne

Evaluation de F_{θ} :

L'équilibre des forces verticales

$$2F_{\theta} = \int_0^{\pi} (pbrd\theta) \sin\theta$$

$$\text{d'où ; } F_{\theta} = pbr \quad (1)$$

Contrainte circonférentielle

La contrainte normale circonférentielle σ_{θ} est due à F_{θ} agissant sur la section de matériau bt , soit

$$\sigma_{\theta} = \frac{F_{\theta}}{t} = \frac{p \cdot r}{t} \quad (2)$$

L'équation implique que σ_{θ} soit constante dans toute l'épaisseur t , ce qui est conforme à l'hypothèse initiale. En outre, σ_{θ} est indépendante des coordonnées θ ou x . du fait de la symétrie générale du cylindre étudié. La fig 15.b montre la répartition de σ_{θ} dans la paroi du cylindre. On voit que le matériau est soumis à une tension (dite « de membrane») uniforme dans toute l'épaisseur du cylindre.

b-Etude des allongements :

Pour étudier la déformation du cylindre, il nous faut reprendre le concept de traction uniaxiale. (La fig.16.a) montre le cylindre coupé longitudinalement sur une seule ligne ; les deux bords en sont légèrement écartés pour permettre d'illustrer la contrainte circonférentielle σ_{θ} . Puisque la paroi est mince, on peut développer complètement le cylindre et obtenir ainsi une feuille de longueur $2\pi r$ et de section bt .

On calcule l'allongement circonférentiel

$$\delta_{\theta} = \frac{\sigma_{\theta} (2\pi r)}{E} = \frac{2\pi p r^2}{E \cdot t}$$

S'il y avait en outre une variation de température T, l'allongement serait,

$$\delta_{\theta} = \frac{2\pi p r^2}{E \cdot t} + \alpha r \Delta T \quad (3)$$

du point de vue pratique. ce n'est pas l'allongement circonférentiel qui nous intéresse mais plutôt la variation du rayon δ_r (fig1.2.b). Géométriquement, on a

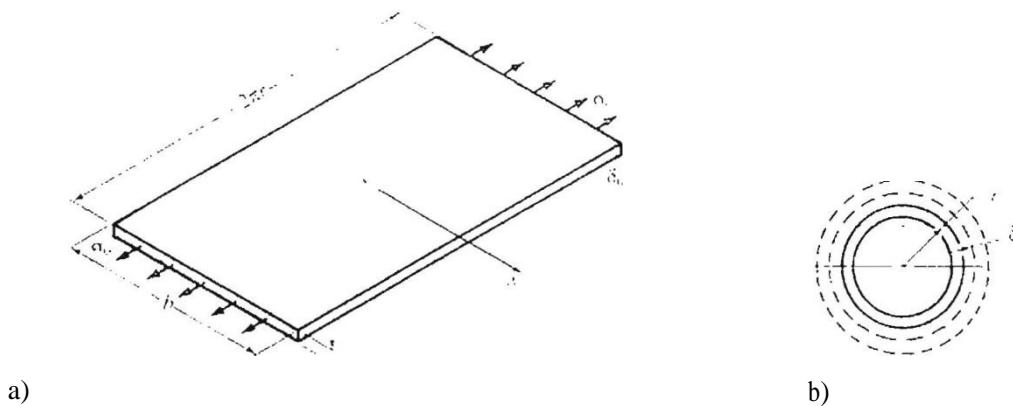


Fig1.17-a-b : cylindre déroulé

$$\text{Périmètre final} = 2\pi r + \delta_{\theta} = 2\pi(r + \delta_r)$$

D'où,

$$\delta_r = \delta_{\theta} / 2\pi$$

$$\delta_r = \frac{p r^2}{E \cdot t} + \alpha r \Delta T \quad (4)$$

La pression exercée sur les fonds du cylindre fermé crée par conséquent une tension longitudinale dans la paroi du cylindre, laquelle se superpose à la contrainte circonférentielle étudiée à l'article.

Une coupe transversale à l'axe du cylindre permet de calculer la contrainte σ_X agissant sur la section annulaire $A_x (A_x = 2\pi r t)$

La résultante est

$$F_x = \pi r^2 p$$

d'où

$$\sigma_X = \frac{pr}{2.t} \quad (5)$$

p : pression exercée

r : rayon extérieur

t : épaisseur

b : hauteur du cylindre

σ_θ : contrainte circonférentielle

E : module de Young

δ_θ : allongement circonférentiel

δ_r : variation du rayon

σ_X : Contrainte longitudinale

Application à la bouteille B6kg soumis à la pression de 30 bars

p : 30 bars

r : 150mm

t : 2.5mm

h : 288mm

E = 200GPa

on a $t/r = 2.5/150 = 0.01$

donc la bouteille 6 kg est assimilable a un cylindre à paroi mince fermé

$$\sigma_{\theta} = 3 \times 0.15 / 0.0025 = 180 \text{ MPa}$$

$$\delta_{\theta} = 2 * \pi * 0.15^2 * 3 / 200 * 10^3 * 0.0025 = 0.848 \text{ mm}$$

$$\delta_r = 3 * 0.15^2 / 200 * 10^3 * 0.0025 = 0.135 \text{ mm}$$

$$\sigma_x = 3 * 0.15 / 2 * 0.0025 = 90 \text{ MPa}$$

Tableau de comparaison entre les caractéristiques mécanique de la tôle BS2 et les résultats trouvés lors de l'essai à 30bars

Tab1.10 : comparaison entre caractéristiques tôle BS2 et résultats essai à 30 bars

Résistance à la traction	410 à 490 MPa
Limite d'élasticité	265 MPa
allongement	24%
Contrainte circonférentielle à 30 bars σ_{θ}	180 MPa
Allongement circonférentiel δ_{θ}	0.848mm
Variation du rayon δ_r	0.135mm
Contrainte longitudinale σ_x	90MPa

1.9.4.2 Essais Destructifs:

Les essais destructifs sont réalisés à raison de 2% par commande en présence de l'expert mandaté par le client. Les prélèvements et les essais sont effectués suivant la norme

NF-M88 703.

Les bouteilles prélevées sont remplies d'eau et subissent une augmentation progressive de pression par le biais d'un multiplicateur hydraulique air-eau jusqu'à éclatement (50 bars minimum).

Les résultats de l'épreuve hydraulique et de l'essai d'éclatement sont consignés dans un procès-verbal adressé au client pour consultation si besoin est.

1.9.5. Traitement de finition :

Les bouteilles fabriquées, recuites, éprouvées et contrôlées passent au stade de la finition pour subir les opérations de grenaillage, de métallisation et de peinture. Au cours de ces opérations, la protection du taraudage de la collerette est parfaitement assurée et aucun abrasif ne rentre dans la bouteille.

1.9.5.1 Grenaillage

Les bouteilles sont décapées extérieurement à sec par un jet de grenaille, afin d'éliminer toute trace d'oxyde, de calamine ou d'enduit quelconque. Ce décapage est suffisamment efficace pour assurer une parfaite adhérence de la couche de métallisation

1.9.5.2 Métallisation

Aussitôt après grenaillage et dans un délai maximum de deux heures, les bouteilles sont métallisées par projection, avec un dispositif de métallisation, d'une couche de zinc pur à 99,9 % et d'une épaisseur de 40 microns réparties uniformément sur le corps de la bouteille, et de 20 microns minimum dans les endroits difficilement accessibles.

1.9.5.3 Peinture

Après la métallisation, il est appliqué sur les bouteilles deux couches de peinture par pulvérisation électrostatique :

Une couche d'impression et une couche de finition de couleur choisie par le client.

L'épaisseur totale de la peinture est de 40 microns. La peinture subit ensuite une étuve de polymérisation.

Cependant, la couche de peinture peut être inférieure à 40 microns aux endroits suivants :

- Angle aigu à la jointure du pied avec le dessous de la bouteille.
- Face intérieure de la courbure du pied
- Face intérieure de la courbure du support

1.9.6. Montage des valves :

Après les opérations de peinture une boîte à clapet (valve) est montée sur la collerette de la bouteille avec une machine à visser dont le couple de serrage est réglé à 130 Nm.

Le vissage se fait avec additivation de Loctite 290.

Afin de détecter des fuites éventuelles la bouteille sera remplie d'air sec à 7 bars puis plongée dans un bac à eau.

1.9.7. Tarage :

La bouteille finie avec valve, support et pied, est pesée avec précaution, avec une balance et la tare est inscrite sur la bouteille.

1.10 Conclusion :

Les résultats du banc de test hydraulique montré que la bouteille soumise à une pression de 30 bars permettent de faire varier le volume de la bouteille en n'atteignant pas la limite d'élasticité et la résistance à l'extension.

Tous défauts au niveau de joints de soudures vont augmenter de taille et se manifestera par des fuites détectables par le contrôleur.

2.1 Introduction :

Les G.P.L. (Gaz des pétroles liquéfiés) sont deux hydrocarbures, le propane C₃H₈ et le butane C₄H₁₀. Ces corps sont à l'état gazeux aux conditions normales de température et de pression et peuvent très facilement être liquéfiés par abaissement de la température à -42 °C pour le propane et -6 °C pour le butane, ou par compression modérée.

2.2 Les gaz GPL :

2.2.1 Décomposition molaire des GPL :

Tab2.1 : Décomposition molaire des GPL

C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂
1.83%	60.62%	13.61%	23.55%	0.34%	0.05%

2.2.2 Origines :

Les GPL sont obtenus à partir de :

a) Les GPL à partir des champs :

Les GPL sont produits au sud à partir des champs pétroliers de Hassi Messaoud Nord et Sud, Haoud Berkaoui et à partir du traitement de gaz à Hassi R'mel.

b) Production à partir des unités GNL :

En additionnement aux champs, trois unités de liquéfaction de gaz naturel produisent des GPL, il s'agit de GL1K Skikda, GL2K Béthioua et GL4Z Arzew.

c) Production des raffineries :

La production des raffineries varie en fonction des quantités de brut traitées. La totalité de la production est orientée vers le marché national.

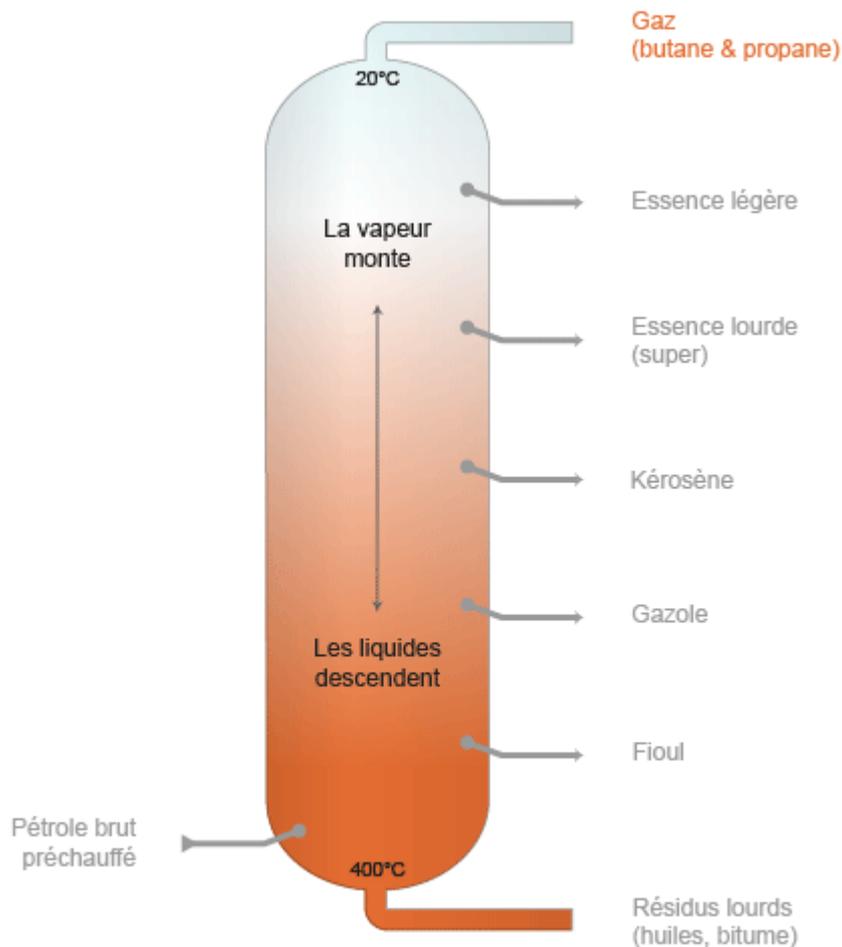


Fig.2.1 : Produits issus de la distillation du pétrole brut

2.2.3 Nature des gaz de pétrole liquéfié (G.P.L) :

Les gaz liquéfiés, d'après leurs proportions ou leurs compositions en hydrocarbures, portent le nom de l'hydrocarbure qui prédomine, ils sont classés en:

- **Gaz Propane** : Présente une quantité importante de propane (C_3H_8), les butanes et plus (C_4+) moins de 25% et les ethanes et moins (C_2-) jusqu'à 1%
- **Gaz Butane** : Composé principalement de butane (C_4H_{10}) du propane et moins (C_3-) jusqu'à 3 % et du pentane et plus (C_5+) moins de 1.5%.
- **Gaz Bupro** : Contient plus de 65% de propane et moins de 25% de butane ainsi que des traces d'éthanes et de pentane (< 2 %).

La composition moyenne de ces mélanges n'est pas rigoureusement constante, toutefois les variations restent dans les limites telles que le fonctionnement des appareils d'utilisation n'en soit pas perturbé.

2.2.4 Propriétés de G.P.L :

1) Propriétés chimiques:

- le Propane et le Butane ne sont pas toxiques.
- A l'état naturel, ils sont inodores, mais pour des raisons de spécification, ils doivent présenter une odeur caractéristique.
- Ils sont incolores, à l'état liquide ou gazeux
- Non corrosifs vis-à-vis des aciers.
- Ils dissolvent les graisses, les huiles et les vernis.
- A l'état gazeux, ils se dissolvent dans l'eau.
- A l'état liquide, ils dissolvent l'eau.

2) Propriétés physiques :

Composition :

Tab.2.2 : composition

Composition	pourcentage %
Méthane C1	0.44
Ethane C2	2.36
Propane C3	69.42
Isobutane iC4	5.36
Normobutane nC4	22.15
Pentane C5	Traces

Viscosité :

viscosité :tab.2.3

Température (C ⁰)	Viscosité (cst)
10	0.264
20	0.205
30	0.247
40	0.225
50	0.190

Masse volumique :

Densité liquide : 590.0 kg/m³ à 0 C⁰
535.0 kg/m³ à 25 C⁰
Densité gaz 2.4 kg/m³ à 0 C⁰

Tension de vapeur:

11.0 Bars abs à 40 C⁰
7.5 Bars abs à 25 C⁰

Chaleur spécifique: 0.55 Kcal/kg à 0 C⁰

Chaleur de vaporisation: 90 Kcal/kg à 0 C⁰

Limite d'inflammabilité:

Inférieur (LII) : 2.16 %
Supérieure (LIS) : 9.14 %

Température:

-T. d'ébullition : -13 C⁰
-T. critique : 135 C⁰
-T. d'auto-ignition : 286C⁰

Poids moléculaire : 54 kg/k moles

Pression critique : 40 Atm

Tension superficielle : 0.014 N/M à 0 C⁰

Pouvoir calorifique : 2 à 3 fois supérieures à celui du gaz naturel qui est de
9.370 cal/kg

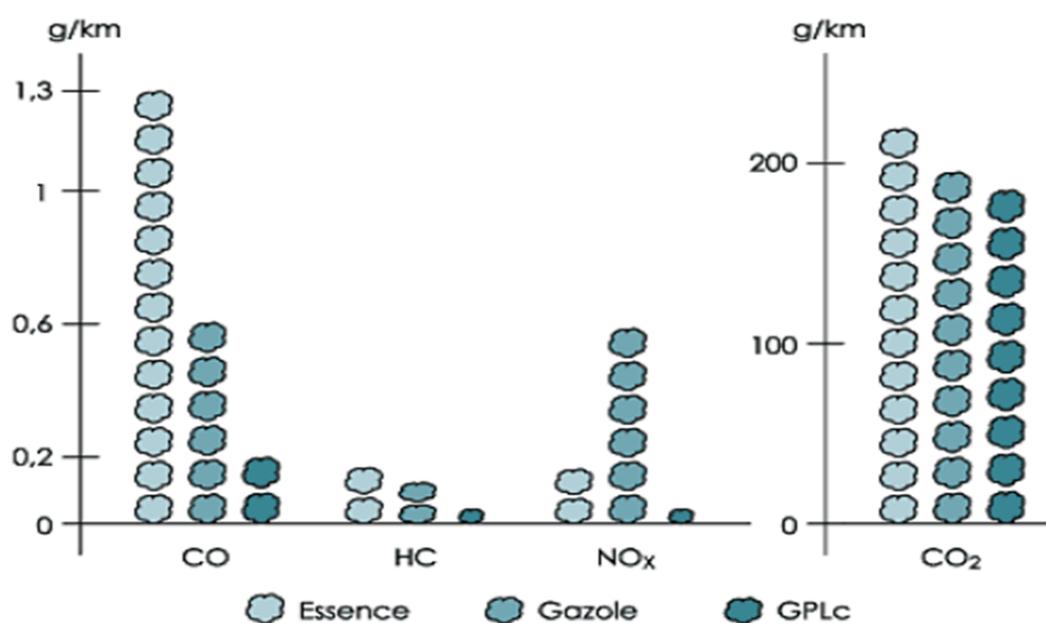
Limite de toxicité :

. TLV / STEL : 1656 mg /m³
TLV : Threshold limit value (Valeur limite de concentration)
STEL : Short Time Exposure Limit

Emissions :

La combustion de GPLc est associée à celle de tout autre hydrocarbure : elle est à l'origine d'émissions de polluants considérablement diminuées comparativement à celles générées dans le cas du fonctionnement d'un moteur thermique alimenté par un mélange AIR-ESSENCE.

Il est à noter que le carburant GPLc (inodore et incolore) ne contient ni plomb, ni benzène, et que la teneur en soufre (longévité de la ligne d'échappement) est très nettement inférieure à celle du carburant essence.



Mesures comparatives d'émissions de CO, HC, NOx

Fig.2.2 : Mesures comparatives d'émissions de CO, HC, NOx

Taux d'émission de CO2 g eq/MJ



Fig.2.3 : taux d'émission de CO2 g eq/MJ

2.2.5 Utilisation des GPL :

1) G.P.L combustible :

D'une façon générale, les GPL sont utilisés pour produire de la chaleur dans les secteurs résidentiels et commerciaux.

- Butane commercial : Il sert à multiples usages domestiques, cuisine, chauffage, éclairage.
- Propane commercial: Il est surtout destiné aux utilisations industrielles chauffage, découpage de chalumeau.

2) G.P.L produit pétrochimique:

10 % de G.P.L sont consommés comme charge pétrochimique, l'éthylène est fabriqué à partir du propane, et le MTBE (méthyltertiobutyléther) fabriqué à partir du butane et aussi dans la fabrication des détergents et des aérosols.

Dans la raffinerie le butane est utilisé pour ajuster la tension de vapeur des carburants.

2.2.6 Stockage:

Le G.P.L. est stocké à l'état liquide sous une pression de 1,4 à 14.5 bars à la température ambiante, ce qui permet d'avoir un volume plus réduit (plus de 250 fois). les réservoirs utilisés pour le stockage sont de formes sphériques ou bien cylindriques à axe horizontal (cigare) à des capacités différentes, revêtus d'une peinture qui réfléchit la chaleur et munis d'une soupape de sécurité, jauge et soupape d'exploitation.

2.2.7 Sécurité :

Le G.P.L peut présenter un risque d'incendie dès qu'une fuite se produit ou dès que le gaz s'échappe dans l'atmosphère.

- leurs vapeurs sont plus lourdes que l'air, ce qui provoque son accumulation dans les points les plus bas. Donc il faut éviter les cavités, aérer, et ventiler les endroits pollués.
- Il a une viscosité faible, ce qui le rend un fluide qui présente beaucoup de fuites. Donc il faut éviter au maximum les assemblages non soudés.
- Ne jamais remplir les réservoirs à plus de 85%.
- Purger les canalisations de liquide après dépotages afin d'éviter les risques de rupture des réservoirs s'ils sont sur remplis.
- Baisser la pression (tension de vapeur) en refroidissant les réservoirs au moyen des rampes, car en été et en cas d'incident la pression dans les réservoirs s'élève
- Eviter les sources chaudes en présences du propane, car il shuto-inflamme lorsque la température dépasse 450 C⁰.
- Effets anesthésiques.

2.2.8 Usages :

Les GPL sont souvent utilisés là où les réseaux de gaz naturel sont inaccessibles, pour des applications variées :

- **applications itinérantes** : bouteilles pour restauration, briquets, lampes, etc. ;
- **applications domestiques** : cuisson, chauffage, production d'eau chaude sanitaire ;
- **applications industrielles** : métallurgie, pétrochimie, industrie textile et du papier, etc. Par exemple, ils sont utilisés dans les fours de traitement thermique, de cuisson et d'émaillage (notamment pour le verre, les poteries ou les porcelaines). Les propriétés oxydantes ou réductrices des GPL y sont exploitées, notamment pour jouer sur les couleurs ;
- **applications agricoles** : agriculture, élevage, etc. Par exemple, les GPL sont des alternatives aux produits chimiques pour le désherbage ;
- **transports** : carburant pour des véhicules, des bateaux de plaisance, des montgolfières, etc

2.2.9 Les pays producteurs et consommateurs :

Les principaux producteurs de GPL dans le monde sont les États-Unis, l'Arabie saoudite et la Chine. A eux trois, ils délivrent près de 37% des GPL produits dans le monde. Ce sont également les trois principaux consommateurs de GPL dans le monde (la Chine se trouvant en 2^e position devant l'Arabie saoudite).

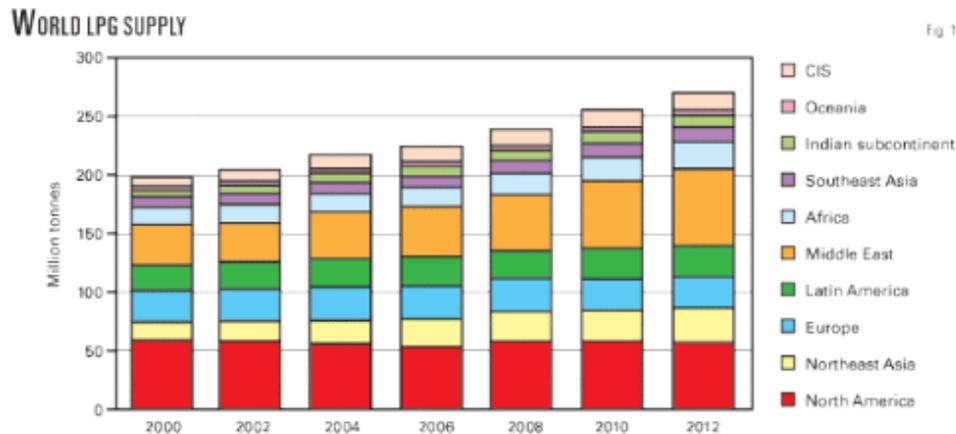


Fig.2.4 : Evolution de l'offre mondiale des GPL par région (2000 - 2012)

3.2 Les Types de bouteilles GPL pour un véhicule :

2.3.1 Bouteille GPL Aluminium :

- pression de 30 bars
- Contenu total: 27 L
- Contenu de gaz: 21.6 L (remplissage à 80%)
- Poids vide : 6,6 KG / remplie 17 KG
- Dimensions : hauteur 625 mm (manchon inclus) diamètre 300 mm
- Hauteur sans manchon: 570 mm



Fig.2.5-1 : Bouteille GPL Aluminium

Cette bouteille est pourvue d'un manomètre livello qui permet de brancher un indicateur de contenu LED SET. Très pratique pour pouvoir surveiller à l'intérieur de votre véhicule le contenu de la bouteille. Avec entrée de gaz coudé.

La bouteille GPL Aluminium est pourvue de:

- Un robinet d'alimentation gaz Din filetage 1 / 2 à gauche (raccord shell) et pourvu d'un caoutchouc Din
 - Une valve d'arrêt 80% dans le robinet
 - Indicateur de contenu
 - Sécurité de ressort dans le robinet de remplissage, la bouteille ne pourra jamais exploser
 - Un manchon démontable
 - Certifié TUV et CE les bouteilles GPL Alu. sont pourvues de la marque TPED que on peut reconnaître au signe de deux traits verticaux sous une petite ondine à côté du numéro : 0035-
- Chaque bouteille GPL Alu. a été testée jusqu'à une pression de 30 bar



Fig.25-2 : Bouteille GPL Aluminium

2.3.1.1 Les accessoires de la bouteille :

a) Kit de remplissage externe :

A monter facilement sur la bouteille GPL.

Inclus:

- tuyau de remplissage 1 m
 - 3 baïonnettes de remplissage
 - Dimensions extérieur: 53 x 53 mm
- Durée de vie du tuyau de gaz: à vie.



Fig.2.6 : Kit de remplissage externe simple pour remplissage de bouteille GPL à l'extérieur du véhicule.

b) Filtre à gaz :



Fig.2.7 : Filtre à gaz haute pression Borel

Filtre à gaz haute pression Borel, permet la protection du circuit gaz et des équipements en filtrant les particules solides ou liquides (dépôt huileux) risquant d'empêcher le bon fonctionnement des électrovannes ou brûleurs.

Convient pour tous types d'installations, butane, propane, ou GPL.

Installation simplifiée au maximum.



Fig.2.8 : Gabarit adhésif facilitant grandement le perçage 28mm



Fig.2.9: Mise en place de la coupelle de remplissage sur la carrosserie 4 vis Inox 5x50mm + Adaptateur



Fig.2.10 : Premier remplissage ok > 20.9L arrêt automatique, la jauge a fait un tour complet

2.3 .2 le réservoir d'un kit GPL:

Elément essentiel du dispositif, il est réalisé en acier spécial d'environ 5 mm d'épaisseur. Il peut être de forme «bonbonne» ou «torique» selon le fournisseur du kit de montage.

Son remplissage est limité par une polyvanne à 85 % de sa capacité pour des raisons de sécurité.

En effet, le GPL , à l'état liquide, se dilate de 0.25% par degré sous l'effet de la chaleur >>> C'est la raison pour laquelle le réservoir ne doit pas être rempli à plus de 85 % . Lors d'une augmentation de température l'espace restant évite la mise en pression trop importante du GPL liquide à l'intérieur du réservoir, cette pression interne pouvant atteindre 20 bars.

2.3.2.1 bouteilles kit GPL type cylindrique :

Un réservoir de forme cylindrique ou torique permettant de stocker le G. P. L / c à l'état liquide, fabriqué selon les normes de fabrication des appareils à pression de gaz et prenant en considération la réglementation algérienne en vigueur, subira durant et en fin fabrication des contrôles réglementaires et tests très poussés par le constructeur en présence des services mines avant de lui poser la plaque signalétique sur laquelle le représentant des services des mines apposera la date et la pression d'épreuve, et dont il faudra refaire au bout de cinq (05) ans.

Le réservoir sera placé dans le coffre du véhicule sur un châssis et maintenu par des sangles tout en respectant les distances imposées par la réglementation.



Fig2.11 : Un réservoir de forme cylindrique

Le réservoir est doté d'un orifice avec une platine conçu spécialement de manière à permettre le montage des accessoires d'exploitation de contrôle et de sécurité du réservoir.



Fig.2.12 : châssis pour un réservoir cylindrique.

2.3.2.1.1 Les accessoires du réservoir :

a) La polyvanne :

Cette dernière regroupe un ensemble d'organe qui a pour fonctions :

- De remplir et d'arrêter le remplissage du réservoir lorsque le niveau liquide atteint 80 % du volume de réservoir
- D'assurer le maintien du GPL/c dans le réservoir par vanne ou de permettre le passage vers le moteur et en option une électrovanne barrage
- D'arrêter toute fuite liquide importante et accidentelle en sortie du réservoir par un limiteur de débit
- De jauger le niveau liquide de GPL/c en % restant dans le réservoir
- De protéger le réservoir contre les éventuelles excès de pression

La polyvanne est montée dans un boîtier étanche qui empêche d'abord toute fuite dans le coffre du véhicule en l'évacuant à l'extérieur à travers un flexible eu une buse d'aération de forme biseautée.

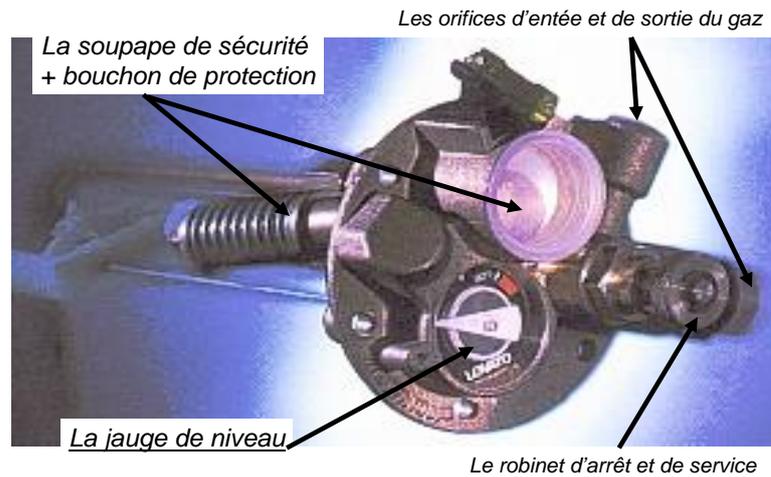
La polyvanne (vue de face)

Fig.2.13 : la polyvanne (vue de face)

La polyvanne vue de profil

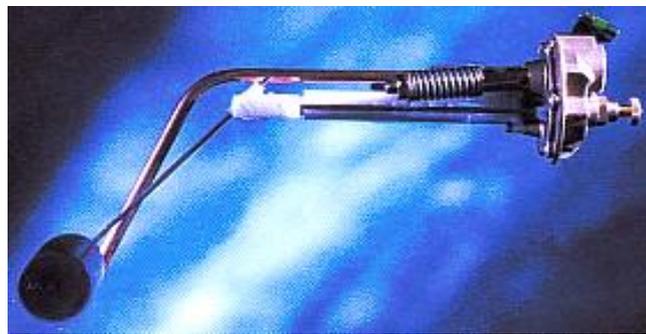


Fig.2.14 : la polyvanne (vue de profil)

b) La jauge :

La jauge indique au conducteur en % la quantité liquide de GPL/c restante dans le réservoir. La liaison entre l'intérieur du réservoir et le cadran de la jauge s'effectue par un aimant afin d'éviter une liaison mécanique propice aux fuites.

c)La soupape de sécurité :

Elément de protection du réservoir contre les éventuels excès de pression interne.

Lorsque la pression du réservoir dépasse la pression de tarage, le clapet se soulève et libère une quantité de gaz faisant ainsi chuter la pression interne.

Un bouchon en plastique protège la soupape, sa présence permet de vérifier qu'il n'y a pas eu de surpression. La soupape de sécurité est tarée entre 17 et 20 bar.

d) L'électrovanne barrage (optionnelle) :

Sa fonction est d'isoler le GPL/c dans le réservoir, interdire la sortie du produit.

Fonctionnement : lorsque le bobinage est alimenté, le noyau plongeur se soulève et permet la sortie du produit. Si l'électrovanne est bloquée ou rompue, le limiteur entre en fonction, ne permettant qu'un débit de fuite minimum. De plus, si une augmentation de pression se crée dans la canalisation, l'électrovanne permet le retour dans le réservoir.

e)Le boîtier d'aération :

Les éléments équipant le réservoir sont protégés par un boîtier de sécurité destiné à sécuriser les passagers et le véhicule dans le cas d'éventuelles fuites des raccordements ou de la soupape de sécurité. Il doit être gardé toujours fermé. Les fuites éventuelles de gaz sont directement rejetées vers l'extérieur.

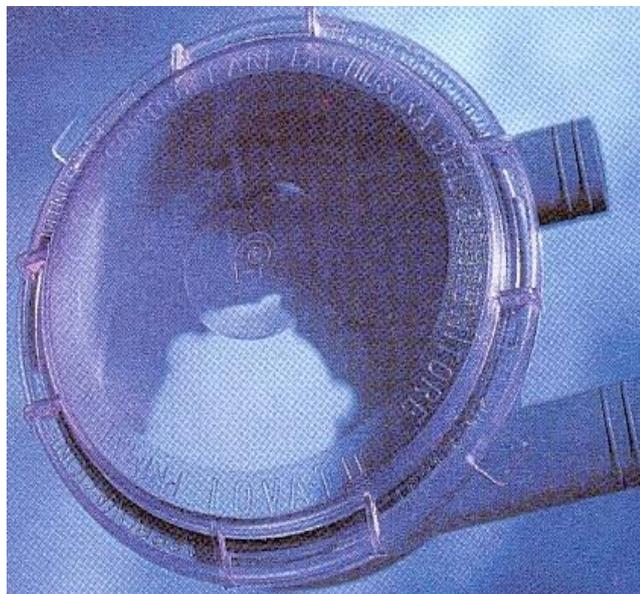


Fig.2.15 : Le boîtier d'aération

f) Les tubes biseautés :

Sont des éléments servants à :

- Evacuer par dépression les éventuelles fuites de gaz se trouvant dans le boîtier d'étanchéité et même dans le coffre du véhicule
- Assurer le passage pour l'acheminement des canalisations d'alimentation du réservoir, et de départ de gaz vers le moteur.

Les tubes biseautés sont installés sur le plancher de la malle, et doivent déboucher à l'air libre sous le véhicule à une distance d'au moins trente centimètres (30 cm) du conduit d'échappement.

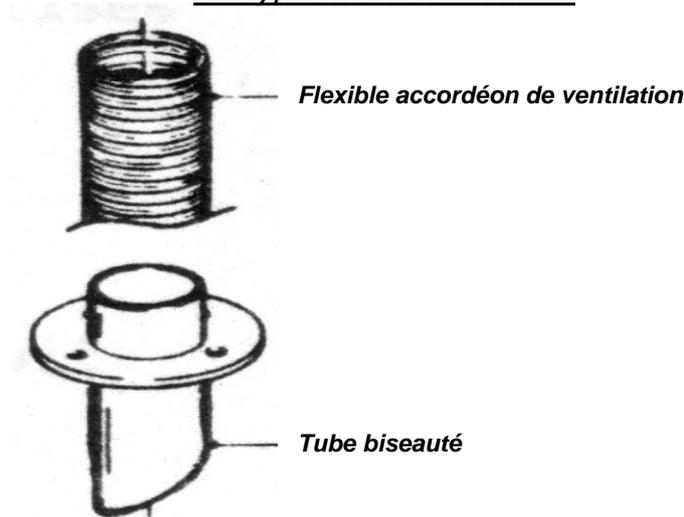
Un type de tube biseauté

Fig.2.16: Les tubes biseautés

2.3.2.2 réservoirs kit GPL type torique :**Le Réservoir**

Récipient métallique utilisé pour le stockage du gaz de pétrole liquéfié (torique en forme de roue de secours ou cylindrique ou twin-tank constitué de 2 réservoirs cylindriques reliés entre eux par des tubes en acier.



Fig.2.17 : réservoir torique

1.Circuit de gaz carburant

Circuit de gaz constitué des éléments suivants :

a) Un dispositif de remplissage

Embout de remplissage obligatoirement protégé par un bouchon et/ou une trappe (volet) contre la contamination (poussière, boue, ..)



Fig.2.18: Modèles de dispositif de remplissage

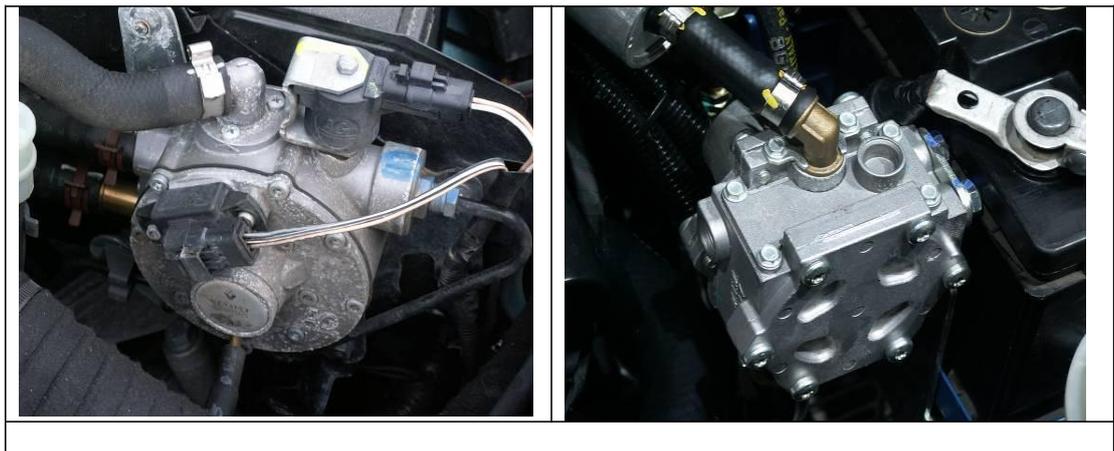


Fig.2.19: Modèles de vaporiseur/détendeur

b) Des canalisations et raccords

Les canalisations sont rigides et/ou flexibles. Circuits de carburant reliant :

- La sortie de dispositif de remplissage à l'arrivée aux accessoires fixés sur le réservoir ;
- Deux réservoirs entre eux ;
- Pour injection gazeuse : La sortie des accessoires fixés sur le réservoir à l'entrée du détendeur
(Le GPL est sous forme liquide jusqu'au détendeur)
- Pour injection liquide : La sortie des accessoires fixés sur le réservoir au dispositif d'injection et du circuit retour.

b) Un vaporiseur/détendeur:

Dispositif, pour injection gaz, permettant :

- De transformer le GPL liquide en GPL gazeux par un apport de calories issues du circuit de refroidissement moteur.
- De régler le flux

c) dispositif d'injection et ses canalisations:

Pour les véhicules à injection GAZ : Le dispositif est constitué d'un ensemble de canalisations rigides et/ou flexibles reliant la sortie du vaporiseur/détendeur aux injecteurs (inclus)

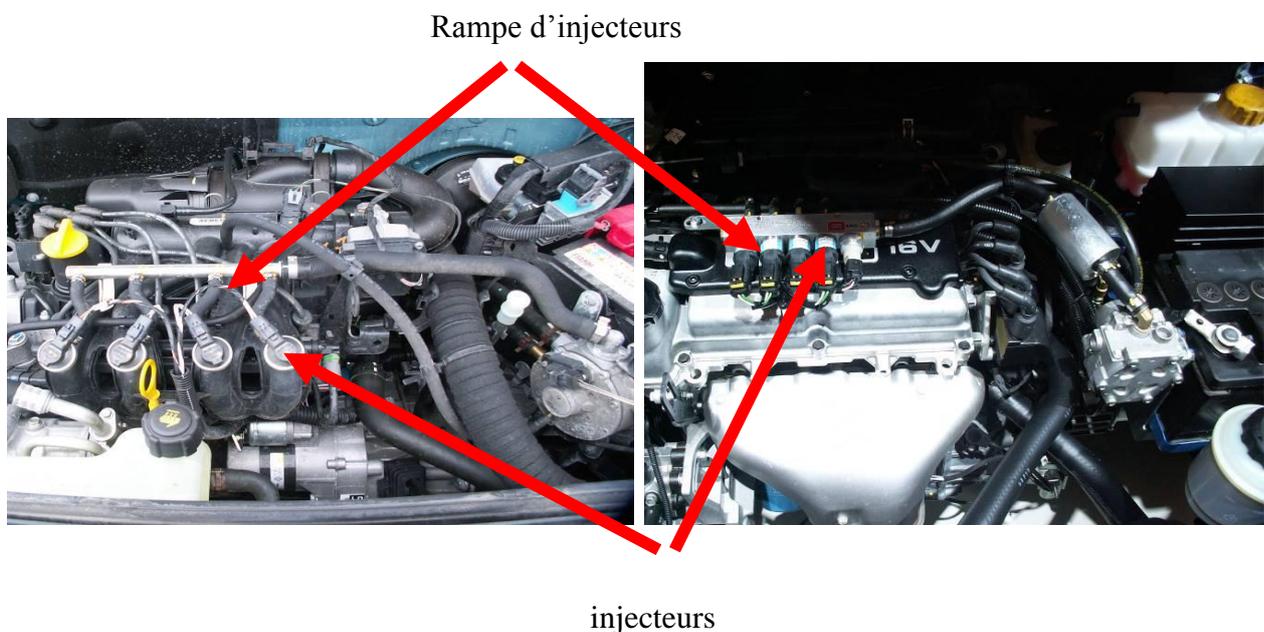


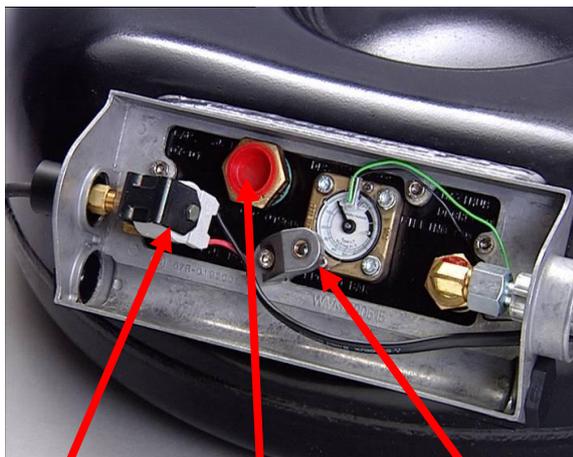
fig.2.20: les injecteurs

Pour les véhicules à injection liquide : Le dispositif est, uniquement, constitué de la rampe d'injecteurs et de ses injecteurs (pas de vaporiseur/détendeur).

2.3.2.3 Accessoires fixés sur le réservoir

Groupe d'accessoires constitué en fonction de la technologie de :

- soit, pour un réservoir à plaque :
 - d'une arrivée de gaz carburant
 - des limiteurs de remplissage et de débit (non visibles)
 - d'une jauge
 - d'une soupape de sécurité conforme au R67-01
 - d'une sortie de gaz carburant
 - d'une électrovanne de sécurité (permettant d'isoler la canalisation du réservoir)
- soit d'une polyvanne (bloc multivannes), comportant tout ou partie des accessoires ci-dessus (et complétée dans ce cas par des accessoires indépendants).



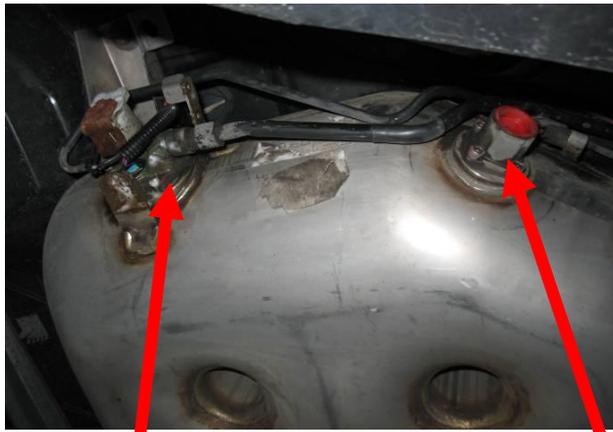
électrovanne Soupape jauge
Avec témoin

Fig.2.21 : Réservoir avec Plaque



Soupape intégré polyvanne
A la polyvanne avec témoin

Fig.2.22 : Réservoir avec modèle de polyvanne



polyvanne

soupape avec témoin

fig.2.23 Réservoir avec polyvanne et soupape séparée

2.3.2.4 Carter de protection du réservoir

Dispositif, si présent, destiné à protéger le réservoir de toute agression externe.



Fig.2.24: Carter de protection du réservoir

2.4 Conclusion:

Le réservoir est en acier très résistant, de 2 à 3,5 millimètres d'épaisseur, soit 6 fois l'épaisseur des réservoirs de carburant traditionnel. Il peut résister à une pression de 45 à 60 bars et ne cède pas, même suite à un choc à 50 km/h contre un tranchant de fonte.

Sa composition lui permet de supporter des flammes vives pendant près d'une demi-heure, alors qu'un réservoir d'essence, soumis aux mêmes conditions, explose après 5 minutes. En cas de forte collision, le réservoir se déforme mais ne se déchire pas.

Donc, pas de risque de fuites. Il est en outre équipé de 5 accessoires de sécurité : le clapet anti-retour, le limiteur de remplissage à 80%, le limiteur de débit, l'électrovanne et la soupape de sécurité.

3.1 Introduction :

Aujourd'hui choisir une voiture GPL relève du geste écologique... et économique.

L'argument écologique peut orienter le consommateur vers l'achat d'une voiture GPL. Emissions de CO₂ réduites, bruit et vibrations moins élevés qu'avec une voiture classique.

Si on ajoute à ce bonus écologique, le coût du carburant moins élevé, la prime d'assurance moins chère, la carte grise à moitié prix ou gratuite (en fonction du département de résidence), le choix de la voiture GPL s'avère actuellement intéressant économiquement.

Un autre atout que présente la voiture GPL, neuve ou transformée, c'est que nous avez toujours le choix de rouler au GPL ou à l'essence. De plus, le kit GPL peut éventuellement être réutilisé pour notre prochain véhicule.

3.2 Principe de fonctionnement :

L'avantage du GPL tient à ce qu'il s'adapte "naturellement" aux moteurs fonctionnant à l'essence sans plomb. De fait, si on l'injecte dans le moteur, à la place de l'essence, celui-ci continue de tourner sans problème particulier. En revanche, le GPL ne s'adapte pas aux moteurs diesels. Pourtant, la concentration des poussières et des hydrocarbures dans les gaz d'échappement des moteurs au GPL étant très inférieure à celle des gaz émis par les moteurs diesels, le GPL pourrait être une bonne solution de substitution pour l'équipement des transports publics, autobus, taxis, etc....

Cette souplesse se heurte cependant à une limite : le GPL ne peut fonctionner avec les moteurs anciens (plus de 60 000 km, ceci incluant les moteurs au super) : les propriétés décapantes de la combustion élimineraient les dépôts de calamine et les films hydrocarbures gras, et le moteur perdrait en taux de compression.

Quel que soit le cas de figure, le véhicule fonctionne toujours en bi-carburation. En effet, le circuit à essence classique subsiste intégralement et c'est toujours l'essence qui est utilisée pour démarrer le moteur (le GPL ne le permettant pas dans cette configuration). Au bout de quelques secondes, le GPL peut prendre le relais automatiquement.

C'est le conducteur du véhicule qui choisit son mode de carburation, en agissant sur un "commutateur" placé sur le tableau de bord. De la sorte, si le véhicule tombe en panne sèche de GPL, il reste l'autonomie du réservoir à essence.

Les principales modifications à apporter au véhicule sont l'adjonction d'un réservoir séparé et d'un circuit d'admission propre. Le réservoir peut être installé dans le coffre du véhicule (sous la forme d'une bonbonne cylindrique) ou se loger à la place de la roue de secours (réservoir torique). Celle-ci est alors soit stockée dans le coffre, soit remplacée par une simple bombe anti-crevaison (rouler sans roue de secours n'est en effet pas interdit par le code de la route).

3.2.1 Les prescriptions à respecter :

Les prescriptions techniques sont majoritairement basées sur le règlement 67 annexé à l'accord de Genève du 20 mars 1958 révisé concernant l'homologation des équipements spéciaux des automobiles utilisant les gaz de pétrole liquéfiés dans leur système de propulsion. Ce règlement a été "ratifié" par la France qui s'est donc engagée à en respecter les termes et donc à les traduire en réglementation française.

Les règles particulières concernant le GPL sont édictées par le CFBP (Comité Français du Butane et du Propane) sous le contrôle de l'administration.

Le véhicule transformé doit repasser par les services de la DRIRE (service des mines) pour une réception "à titre isolé". Il en coûte environ 500 F. La carte grise doit être également modifiée : la rubrique énergie doit comporter la mention "essence/gaz". Le coût de cette prestation équivaut au prix d'un cheval fiscal (de 278 F à 600 F selon les régions).

Un arrêté du 15 janvier 1985 déterminait les conditions d'homologation des véhicules utilisant le GPL comme source d'énergie. D'une part, les différentes pièces techniques doivent être conformes à un cahier des charges rigoureux ; d'autre part, l'installateur doit posséder l'agrément du CFBP (Comité Français du Butane et du Propane). Les services de la DRIRE sont chargés de vérifier les certificats de conformité des pièces et d'agrément de l'installateur, puis de contrôler l'installation.

Cet arrêté a été complété par un arrêté du 4 Août 1999 (JO n° 200 du 29 Août 1999 page 12947) afin d'introduire les nouvelles prescriptions du règlement n° 67 annexé à l'accord de Genève du 20 mars 1958 révisé concernant l'homologation des équipements spéciaux des automobiles utilisant les gaz de pétrole liquéfiés dans leur système de propulsion. Ce dernier arrêté est applicable au 1^{er} janvier 2001, mais depuis le 1^{er} janvier 2000, toute intervention (remplacement) effectuée doit conduire à l'adjonction des dispositifs de sécurité prévus (soupape de surpression notamment).

L'installation ne peut se faire que par l'intermédiaire d'un installateur agréé par le CFBP (Comité Français du Butane et du Propane). C'est d'ailleurs bien souvent l'installateur qui, une fois les modifications effectuées, s'occupe des démarches auprès du service des mines pour la conformité du véhicule et présente les différentes pièces administratives nécessaires.

L'installateur va intégrer les différentes pièces suivantes :

- un réservoir et son orifice de remplissage (généralement à côté de celui du réservoir à essence). Le GPL est stocké à l'état liquide, sous basse pression, dans le réservoir,
- pour acheminer le GPL vers le moteur, une polyvanne puis des canalisations de cuivre. L'étanchéité entre le réservoir et la polyvanne est assurée par un joint spécial,
- à l'arrivée au moteur, une électrovanne d'entrée chargée de réguler l'arrivée du fluide, le vapo-détendeur permettant ensuite de le faire passer de l'état liquide à l'état gazeux. Dans les moteurs modernes on procède à l'injection du liquide,
- un distributeur GPL et les injecteurs GPL (ou un mélangeur air/gaz) qui distribuent finalement le carburant dans le moteur. Un boîtier électronique régule le débit de carburant,
- enfin, une jauge à carburant, et un bouton commutateur "essence/gaz" sont installés sur le tableau de bord du véhicule,
- dans certains pays, nordiques notamment, un dispositif de sécurité – une soupape de sécurité – est monté sur le réservoir GPL. La soupape de sécurité se compose d'une valve (piston) maintenue en position fermée par un ressort taré. Lorsqu'une pression dans le réseau excède le seuil de détection, la valve se soulève et laisse échapper le gaz jusqu'à ce que la pression interne revienne à la normale. En cas de nouvelle surpression, la soupape se déclenchera à nouveau. Pour fonctionner correctement, la soupape de décharge doit baigner dans l'environnement gaz (ciel gazeux). C'est pour cette raison qu'elle est placée à proximité de la polyvanne ou sur celle-ci.

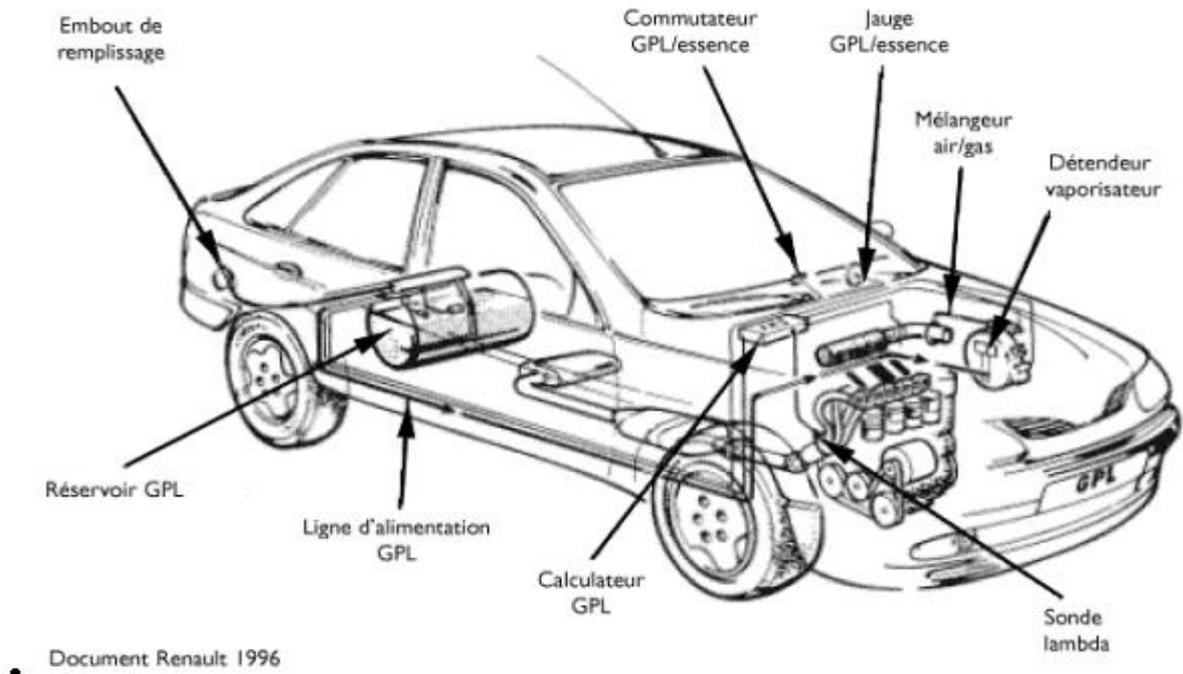


Fig.3.1 : installation du kit GPL

3.2.2 Les limites techniques :

Comme indiqué supra, tous les moteurs ne peuvent pas être équipés. De plus, les équipements peuvent varier selon le type de carburation en place sur le véhicule. En fait, il est recommandé de n'équiper que les moteurs pour lesquels un "kit" est expressément désigné par le constructeur. Certains installateurs peuvent en effet proposer des équipements un peu "bricolés", avec notamment un panachage des marques de composants installés, afin d'adapter le système sur un maximum de véhicules. Cette solution est à proscrire, pour éviter les problèmes de pannes, de mauvais réglages et surtout de surconsommation (qui nuiraient à l'intérêt financier de l'opération).

3.2.3 La responsabilité de l'installateur ;

Ce dernier a la responsabilité du montage, et c'est à lui de conseiller utilement le candidat usager (article 8 de l'arrêté du ministère des transports du 15 janvier 1985). Dans tous les cas de figure, la DRIRE (service des mines) constitue l'ultime procédure de contrôle pour s'assurer que les règles de sécurité et les procédures réglementaires ont été respectées.

L'enquête :

A la suite des saisines dont elle a fait l'objet, la Commission a immédiatement lancé une enquête auprès des personnes, professionnels et organismes concernés. Ont ainsi été interrogés, dans un premier temps par écrit, puis par entretien direct :

- le Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (C.C.F.A.),
- le Conseil National des Professions de l'Automobile (C.N.P.A.),
- l'Association Auxiliaire de l'Automobile (A.A.A.),
- la Chambre Syndicale des Importateurs Automobiles (C.S.I.A.M.),
- la Chambre Syndicale Nationale des Experts en Automobile,
- le Conseil National des Professions de l'Automobile (C.N.P.A.),
- la Fédération des Industries des Equipements pour Véhicules (FIEV),
- le Comité Français du Butane et du Propane (CFBP),
- l'Union Technique de l'Automobile et du Cycle (U.T.A.C),
- le Bureau de Normalisation des Appareils d'Utilisation des Combustibles Gazeux (B.N.G.),
- la Direction de la Sécurité et de la Circulation routière – DSCR – SR/V,
- le Bureau de Normalisation du Pétrole – Département Matériels – BNP,
- l'Institut Français du Pétrole – Division d'Applications Energétiques.

Dans le même temps, la presse s'est fait, de manière très diverse et souvent inconsidérée, l'écho de l'accident survenu à VENISSIEUX en cherchant à déterminer les causes et les responsabilités. Des appels à témoignage et la lecture de la presse ont permis de dénombrer d'autres cas d'explosions de réservoirs de :

- RENAULT 4L de La Poste, le 25 Août 1994 à ROANNE,
- Citroën CX Break, le 23 juillet 1996 à ORLEANS (La République du Centre),
- Ford Orion, en avril 1997 à FIRMINY (Le Progrès),
- Citroën C25 camping-car le 12 octobre 1997 à IVRY (Le Parisien),
- Peugeot 405 MI16, le 16 mai 1998 à CHTEAUBOURG (Ouest France),
- Renault Safrane, le 19 juillet 1998 à BRISSAC (Courrier de l'Ouest),
- Renault 21, le 26 mars 1999 à CLAYE-SOUILLY (La Marne).

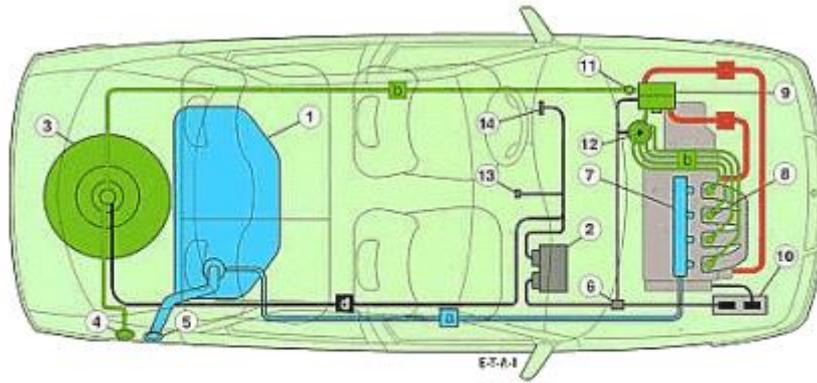
Plus récemment, fin septembre 1999, un accident survenu entre Aix-en-Provence et Marseille, est venu confirmer la dangerosité des feux de véhicule équipés en GPL. Une 205 Peugeot a heurté violemment un arbre avant de finir sa course contre un mur en béton. Les secours sont intervenus et ont respecté les consignes de sécurité édictées après l'accident de Vénissieux à savoir respecter une distance de 20 mètres du véhicule en feu. Pourtant, lors de l'explosion du réservoir, deux sapeurs pompiers ont tout de même été blessés, heureusement moins gravement que dans l'accident de Vénissieux (brûlures aux mains dues à des projections de matières plastiques brûlantes et lésions des tympons).

Enfin, le 9 décembre 1999, le réservoir d'un véhicule alimenté au GPL a éclaté dans le 18^{ème} arrondissement de Paris. Il a été démontré dans cette affaire qu'un incendie a pris naissance au niveau du moteur, quelques secondes après que le conducteur ait démarré. L'éclatement du réservoir qui n'était pas muni de soupape est survenu alors que les sapeurs pompiers arrivaient sur les lieux. Il n'y a heureusement pas eu de blessés bien que le réservoir ait été projeté à plus de 25 mètres.

Il faut aussi signaler aussi l'incendie d'un véhicule utilitaire alimenté au GPL le 27 septembre 1999 à Nanterre. Le conducteur ayant constaté une prise de feu dans le compartiment moteur au moment du démarrage a pu demander l'intervention des secours en précisant la nature du carburant. Le véhicule a été totalement détruit mais le réservoir n'a pas explosé, une fuite se manifestant au niveau du raccordement des tuyauteries. Le givrage provoqué par la détente des gaz au voisinage de la fuite en a limité le débit. Il convient de remarquer que la prise de feu est intervenue dans ces deux cas par la mise à feu d'une fuite du circuit d'essence qui est systématiquement utilisé au démarrage. C'est ensuite l'incendie du véhicule qui peut provoquer l'éclatement du réservoir.

Il faut savoir que l'expérience a montré que le serrage de la polyvanne "au couple" (sur le joint dit "fusible") n'assure pas très longtemps l'étanchéité et que les intervenants ont tendance à forcer le serrage, "matant" ainsi le joint qui, emprisonné dans le métal du réservoir est en quelque sorte "protégé" et n'est plus susceptible de fondre (dans l'hypothèse où il aurait été calculé pour cette fonction de "joint fusible" ce qui a été démenti par certains professionnels)..

Il semble que, dans l'accident de Vénissieux, le premier à prendre feu a été le réservoir d'essence.



1 – réservoir d'essence
3 – réservoir de GPL

Fig.3.2 réservoir essence/reverdoir GPL

Les flammes ont provoqué l'échauffement du réservoir GPL sur un côté seulement. Selon les premières expertises, l'eau des pompiers aurait créé un choc thermique sur le métal chauffé à blanc au point de le faire exploser. Selon une autre version, le choc thermique aurait créé des microfissures, laissant échapper le gaz dans un premier temps. Des témoins affirment, en effet, avoir aperçu une sorte de torchère, vite suivie de l'explosion.

Il y aurait donc eu en France un terrible quiproquo et une ignorance quant aux effets de ce fameux joint d'étanchéité censé jouer le rôle de fusible en cas d'incendie. Certains y voient un fusible salvateur, d'autres un fusible à l'occasion. La nuance est de taille. Pour en avoir le cœur net, GPL Magazine a interrogé la sous-direction de la réglementation technique des véhicules. Ce sont ces services qui en 1985 ont conclu à l'autorisation du réservoir type italien, celui-là même qui a explosé à Vénissieux. La réponse est claire. *“Nous faisons des normes pour la sécurité routière. Le réservoir a explosé au bout de 20 minutes, les occupants de la voiture ne risquaient plus rien.”*

Théoriquement, l'éclatement d'un réservoir rempli de GPL est inéluctable si la température du liquide dépasse la température critique. A l'occasion d'un incendie, les réservoirs d'essence pouvaient s'ouvrir brutalement quand ils étaient constitués de tôle, l'essence libérée brutalement étant vaporisée et pouvant produire un flash. Il n'y avait pas de véritable explosion. Avec les réservoirs en matière plastique, il se produit une fuite qui conduit à l'écoulement de l'essence. Celle-ci peut atteindre d'autres véhicules et propager l'incendie mais il n'y a pas d'explosion. Néanmoins, les réservoirs supportent des crash-tests à 100 km/h contre une arête de fonte taillée à 45°. Au sortir ils doivent rester absolument étanches. Rares sont les crash-tests aussi violents.

Il convient donc de se montrer rassurant pour les automobilistes : une installation bien faite ne présente pas de danger particulier. Reste maintenant le problème des sauveteurs en cas d'incendie.

Comme l'a montré l'accident de Vénissieux, les services de secours sont en effet les plus exposés à une explosion.

3.3 Choix de six (4) modèles de voitures connu en Algérie :fig.3.3-1-2-3-4

Dans cette étude nous avons choisis quatre modelés de voiture qui a le volume de coffre différents :

a) : Dacia logan :



fig.3.3-1

Volume de coffre : 510 dm³

Longueur : 1.32 m

Largeur : 0.869 m

Hauteur : 0.754 m

b) : Renault symboleAlgérie :



fig.3.3-2

Le volume de 506 dm³

Longueur : 1.40 m

Largeur : 1.04 m

Hauteur : 0.54 m

c) : ChevroletSial :



fig.3.3-3

Le volume : 551 dm³

Longueur : 1 m

Largeur : 0.96 m

Hauteur : 0.58 m

d) : Great Wall :

fig.3.3-4

Le volume :815 dm³

Longueur : 1.80 m

Largeur : 0.78 m

Hauteur : 0.58 m

3.4 Conclusion :

En effet, toutes les voitures essence sont transformables au GPL. Il est néanmoins nécessaire que le véhicule soit en bon état et qu'il ait été entretenu d'après les prescriptions du constructeur

4.1 Introduction :

Ce chapitre nous détailleront la conception du réservoir GPL avec la logicielle SOLIDWORKS et nous feront un pressions du 36 Bar pour tester la fiabilité du produit avec le logiciel ANSYS. On va utiliser pour notre travaille un réservoir standard.

4.2 Description du réservoir :

Le réservoir GPL est en acier E36 ces caractéristiques mécaniques sont dans le tableau suivant

Tab.4.1 : caractéristiques mécaniques de l'acier E 36

Propriétés mécaniques	Densité Kg/m ³	Limite d'élasticité(MPa)	Module de YOUNG(MPa)	Coefficient de Poisson
Tinguesten	19300	385	385e3	0.26
E36	7850	360	2e5	0.3

- L'épaisseur de la tôle est de 5mm.
- Le diamètre extérieur est de 300mm
- La longueur du réservoir est de 940mm

4.3 La création des différentes parties du réservoir :

4.3.1 La partie cylindre du réservoir :

Nous dessinerons l'esquisse du cylindre et nous spécifierons toutes les dimensions nécessaires. On aura au début une esquisse rectangulaire avec la longueur et la largeur nécessaire puis nous épuseront la fonction extrude pour avoir l'épaisseur, ainsi nous aurons toutes les dimensions voulues. En fin nous allons procéder à l'emboutissage de la plaque obtenue avec la fonction flexion pour avoir la forme finale du cylindre (voir les figures suivantes).

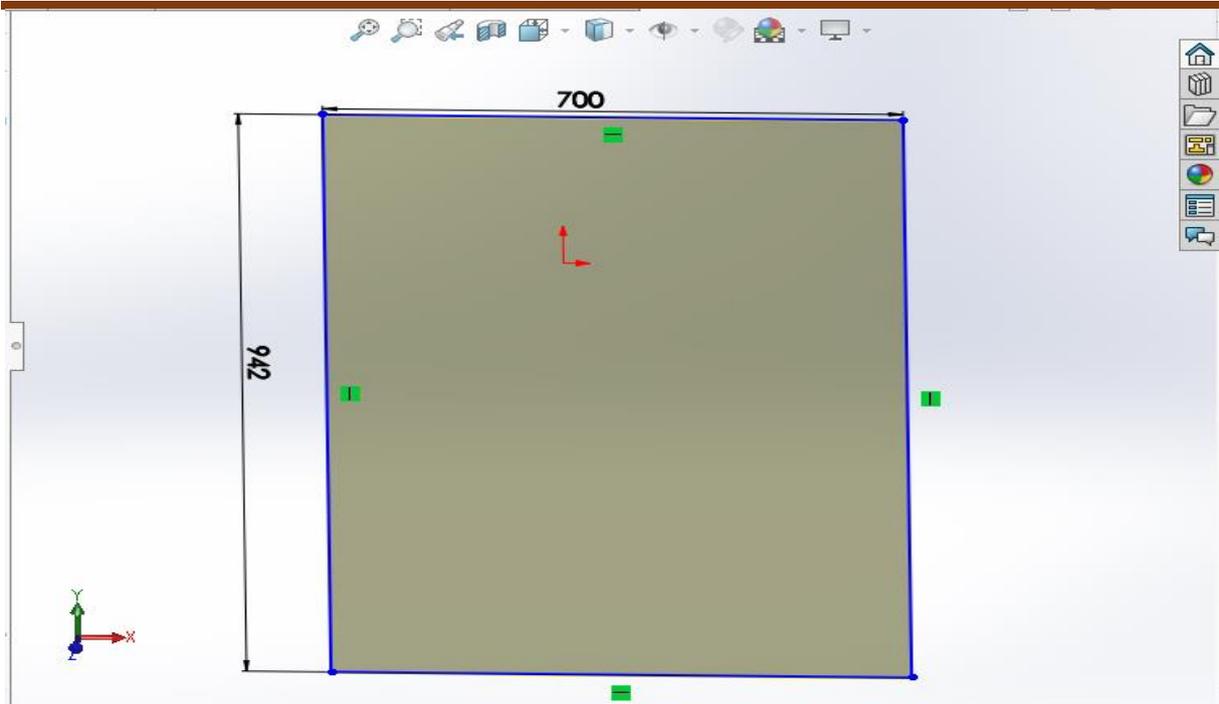


Fig4.1 : esquisse de la tôle du cylindre.

La figure suivante montre la création de la tôle du cylindre

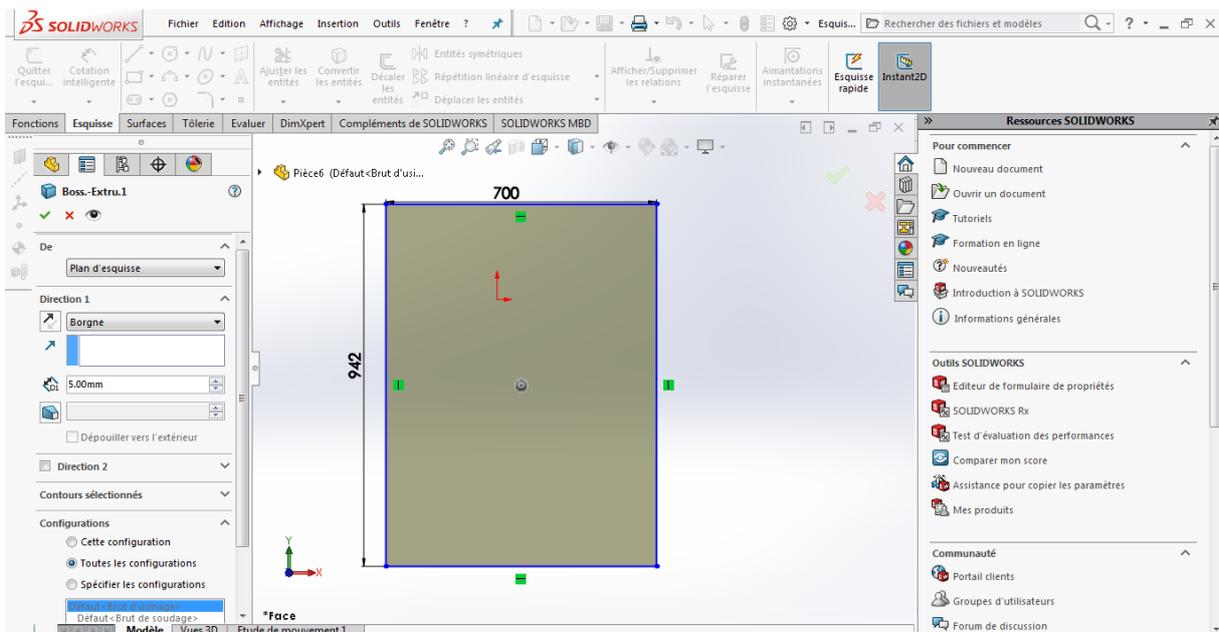


Fig4.2 : La forme 3D de la tôle du cylindre.

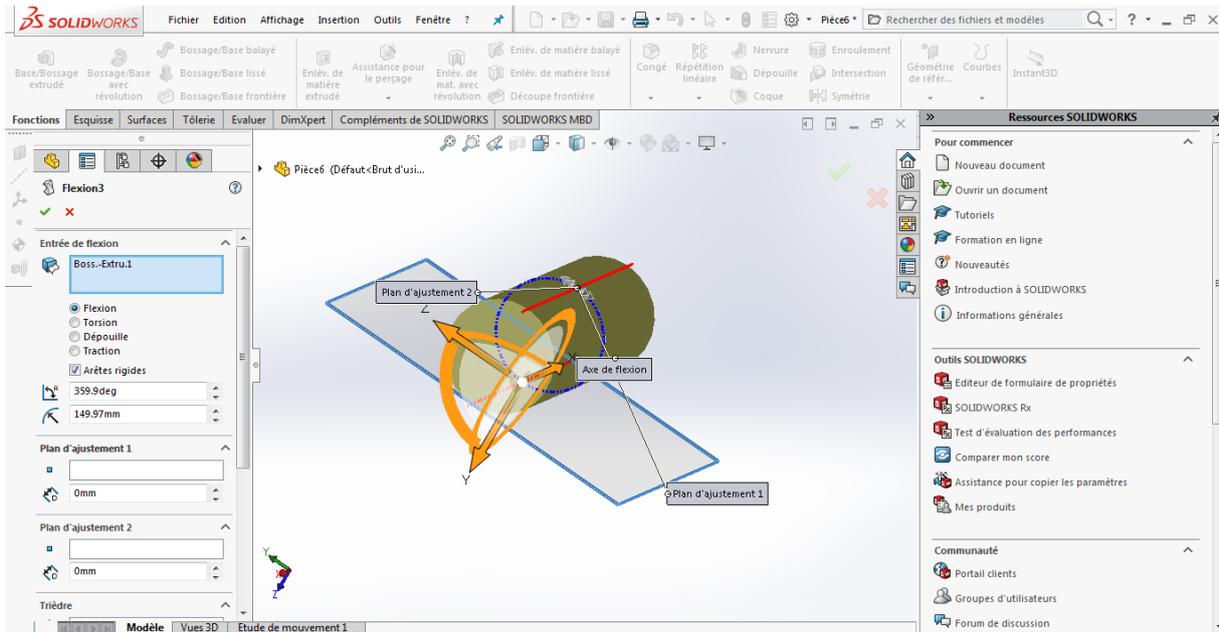


Fig.4.3 : utilisation de la fonction flexion.

4.3.2 La création de l'embouti du réservoir :

La création de l'embouti se fera par la suite de plusieurs étape :

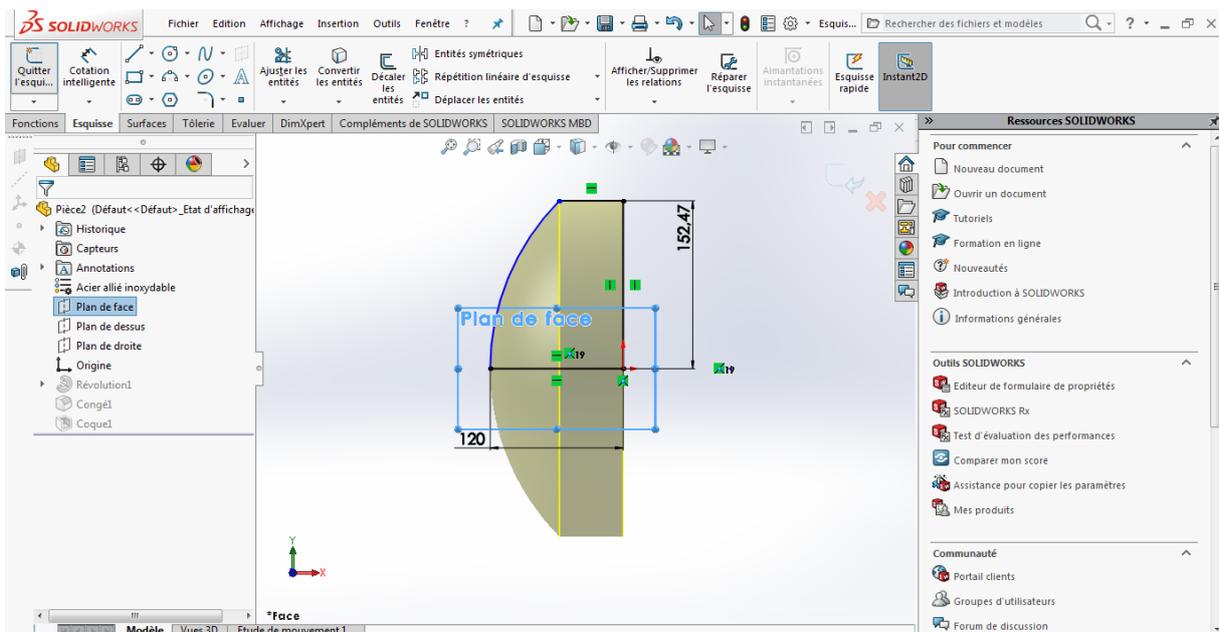


Fig4. 4 : l'esquisse de l'emboutie

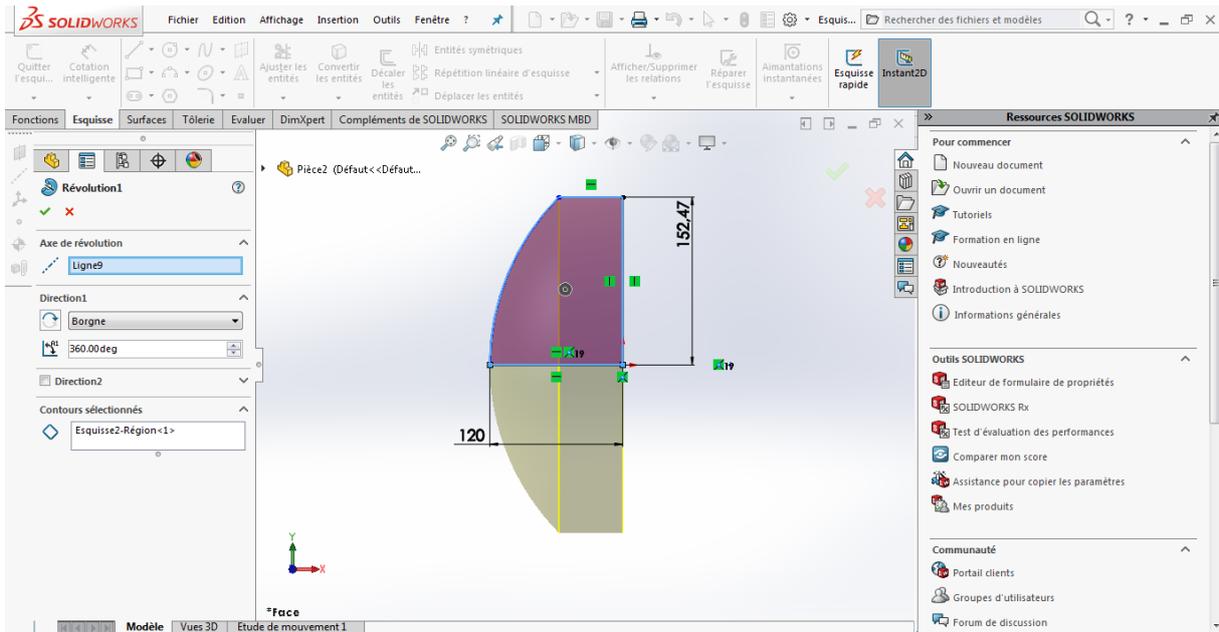


Fig4.5 : La forme 3D de l'emboutie

La forme générale de l'emboutie se fera avec la révolution de l'esquisse en choisissant l'axe de rotation et le degré de rotation comme le démontre la figure précédente

L'obtention de la forme finale de l'embouti vas se faire avec la fonction coque pour avoir la forme concave en choisissant l'épaisseur de la tôle

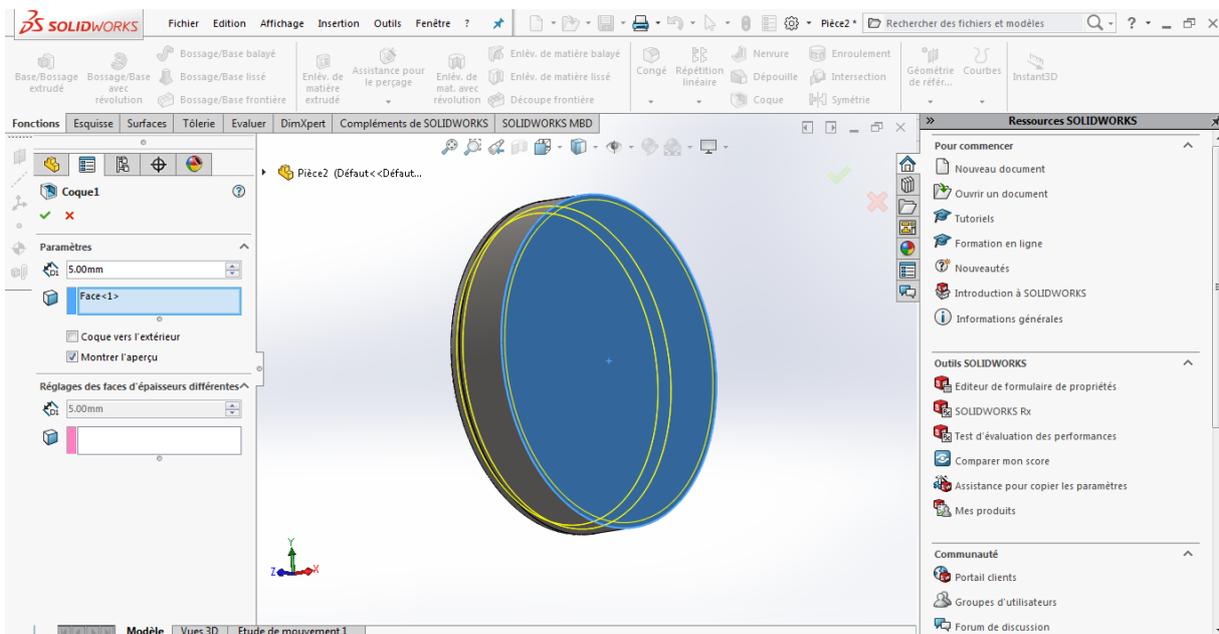


Fig4. 6 : coquage de l'emboutie

L'assemblage du réservoir se fera par l'assemblage de 3 partie en utilisant la fonction assemblage est avec l'aide de la sous fonction contrainte on aura la forme finale du réservoir

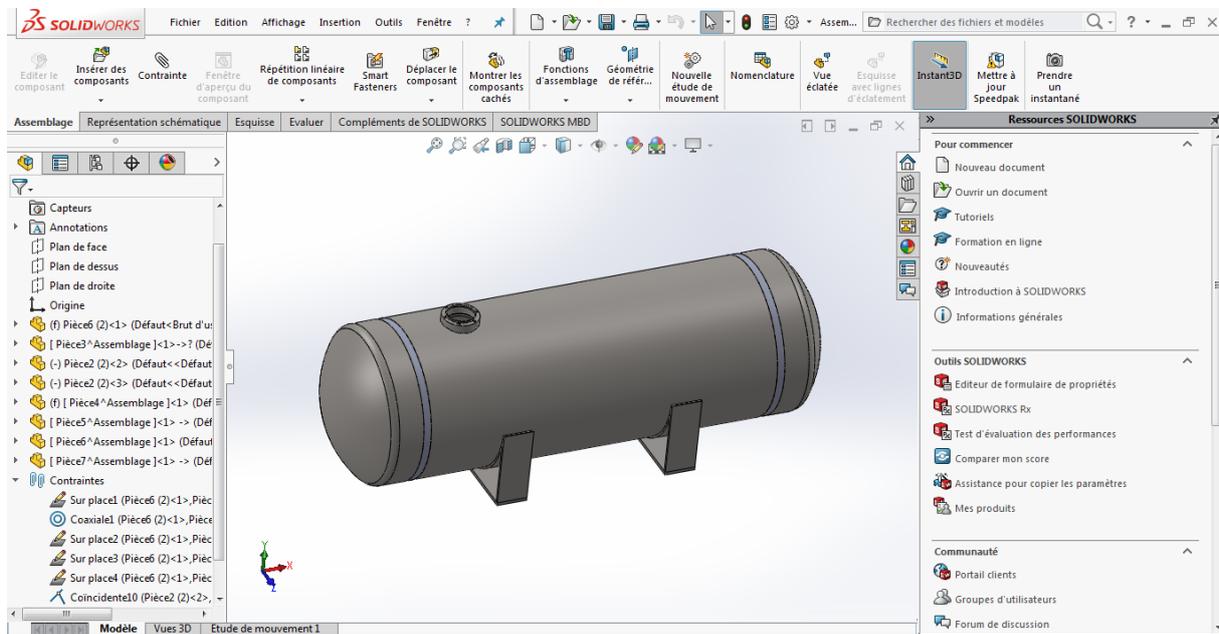


Fig4.7 : assemblage du réservoir

4.4 Modélisation de la structure avec le logiciel ANSYS

Dans cette partie, nous détaillerons la modélisation de la structure avec le logiciel ANSYS, et nous effectuerons également des calculs pour déterminer la pression de rupture du réservoir

4.4.1 Etapes de réalisation du modèle éléments finis :

L'ouverture du logiciel fait apparaître le menu principal présenté ci-dessous. La boîte d'outils nous donne accès à plusieurs systèmes d'analyse. Pour débiter une analyse Statique, Cliquez sur structure statique (ANSYS) et glissez vers le schéma de projet

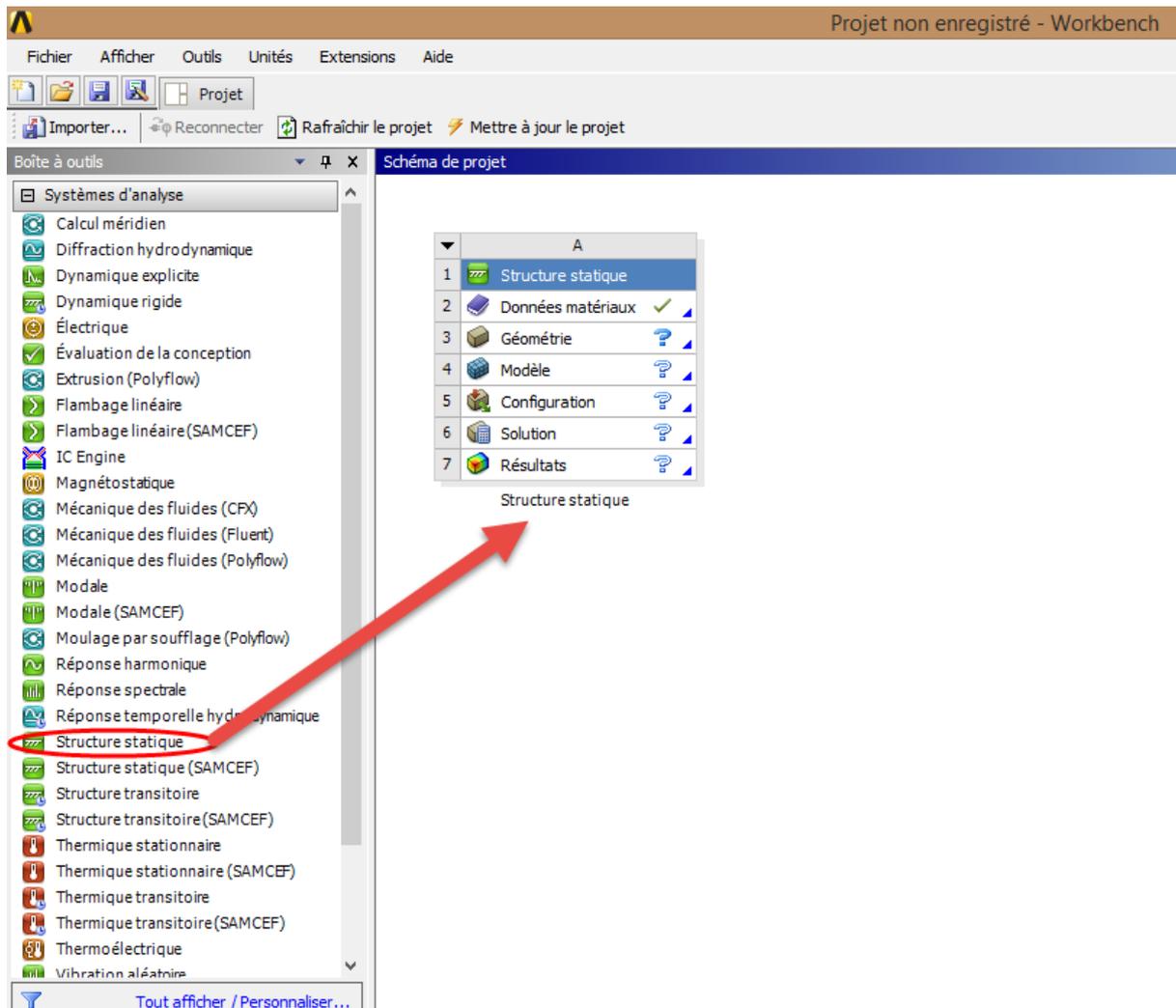


Fig4.8 : Choix du système d'analyse.

4.4.2 Spécification des propriétés des matériaux :

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

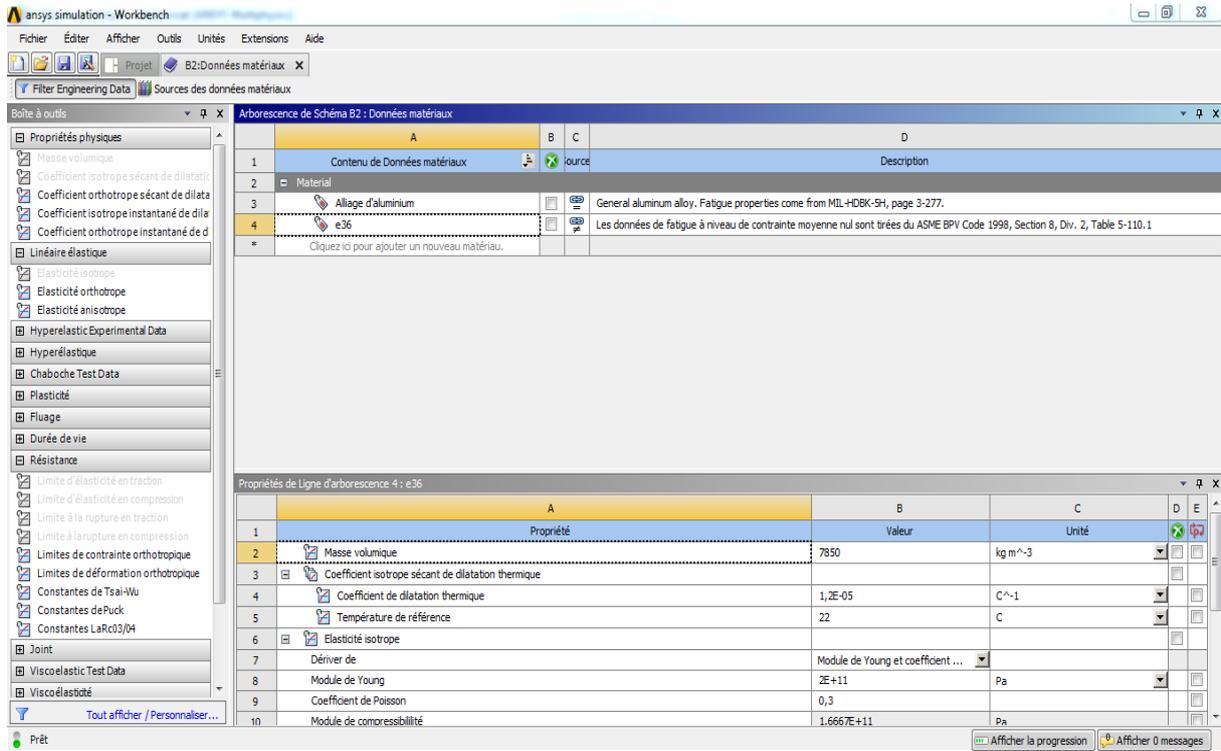


Fig4.9 : Edition et ajout des paramètres matériaux.

4.4.3 Géométrie :

On a définit notre géométrie avec le logiciel "SolidWorks" avant de l'exporter vers ANSYS qui accepte l'importation de différents formats IGESS, SAT ...etc.

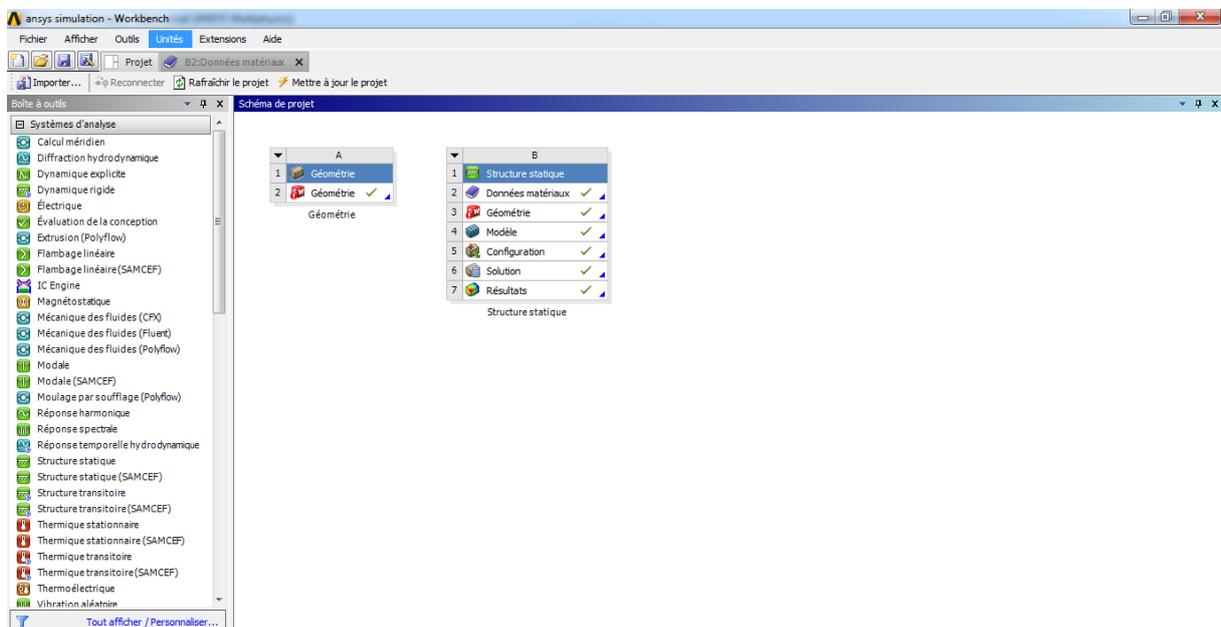


Fig4.10 : importation de la géométrie

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

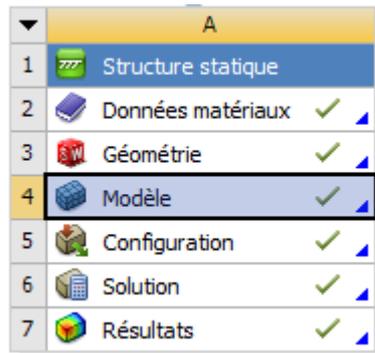


Fig4.11: La case modèle.

4.4.4 Le maillage :

On a utilisé un maillage contrôlé par le programme. Le caisson est maillé avec des éléments tétraédriques, les supports sont maillés avec des éléments hexaédriques. Le nombre total d'éléments et de nœuds est donné dans le Tableau ci-dessous.

Tab.4.2: Le nombre total d'éléments et de nœuds

Nombres de nœuds	Nombres d'éléments
37864	13196

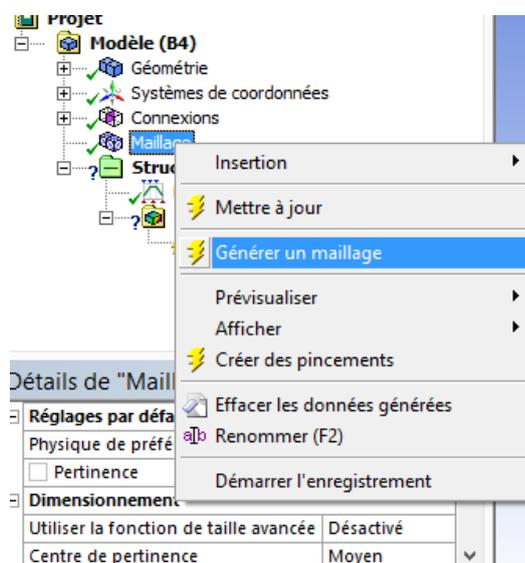


Fig4.12 : Menu de maillage.

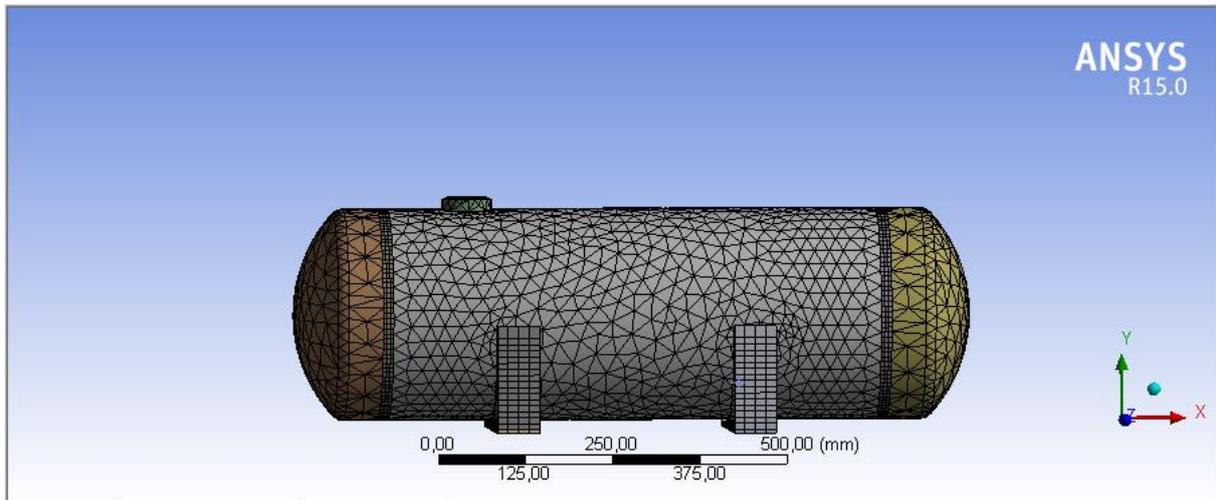


Fig4.13 : maillage du réservoir

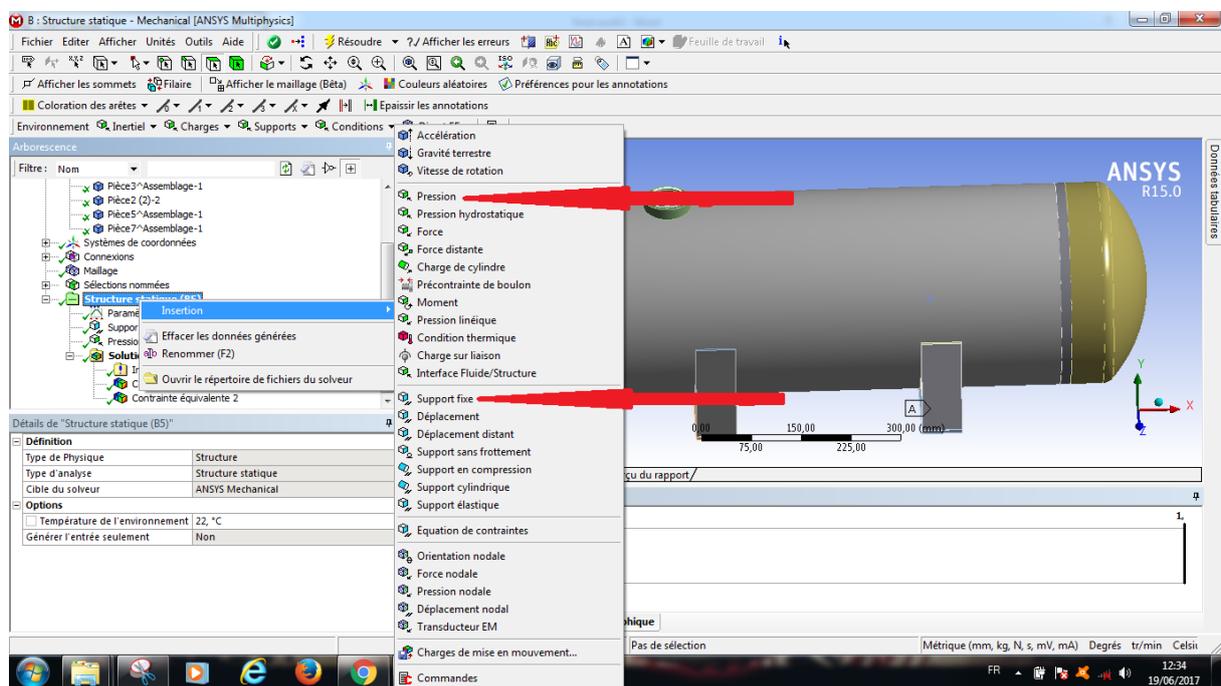


Fig4.14 : choix des conditions limite

4.4.5 Application de la pression :

On va appliquer la pression a l'intérieur du réservoir et on va augmenter jusqu'à déterminer la pression maximale que peut supporter le réservoir

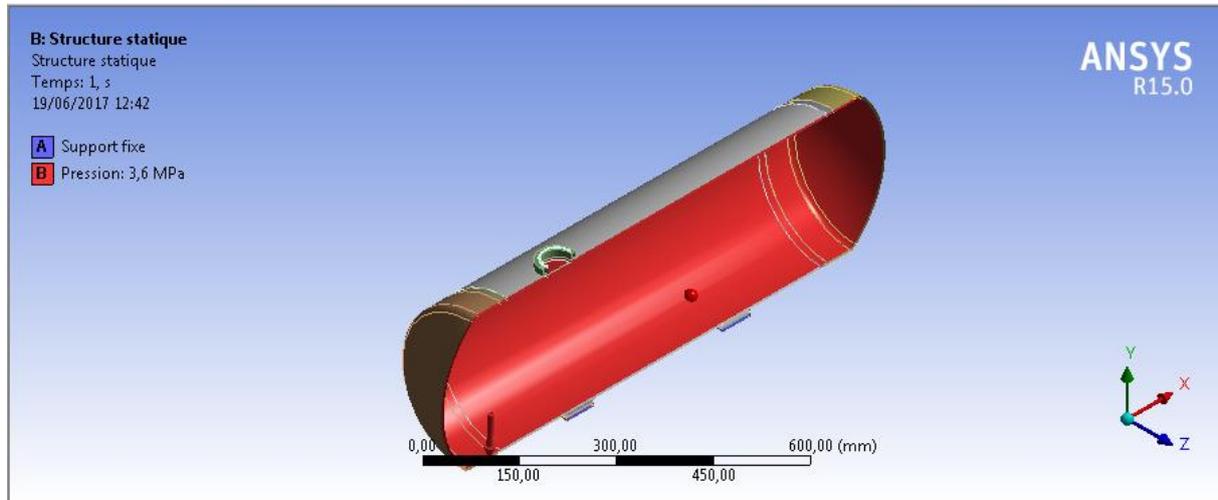


Fig4.15: l'emplacement de la pression

4.5 Résultat :

Après avoir effectué plusieurs calculs on a déterminé la pression maximale que peut supporter le réservoir $P_{\max} < 37 \text{ Bar}$

4.5.1 Contrainte équivalente (Von-mises) :

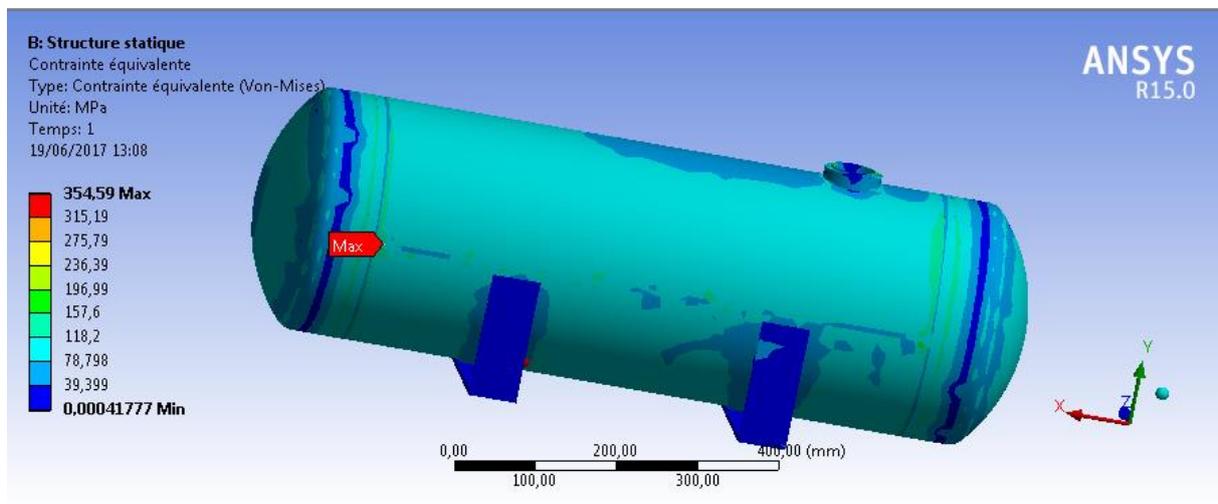


Fig4.16 : distribution des contraintes équivalentes

D'après la figure précédente (fig.4.6) on remarque une distribution sur tous le réservoir, la contrainte équivalente varie entre 0.0004177 MPa et 354.59 MPa

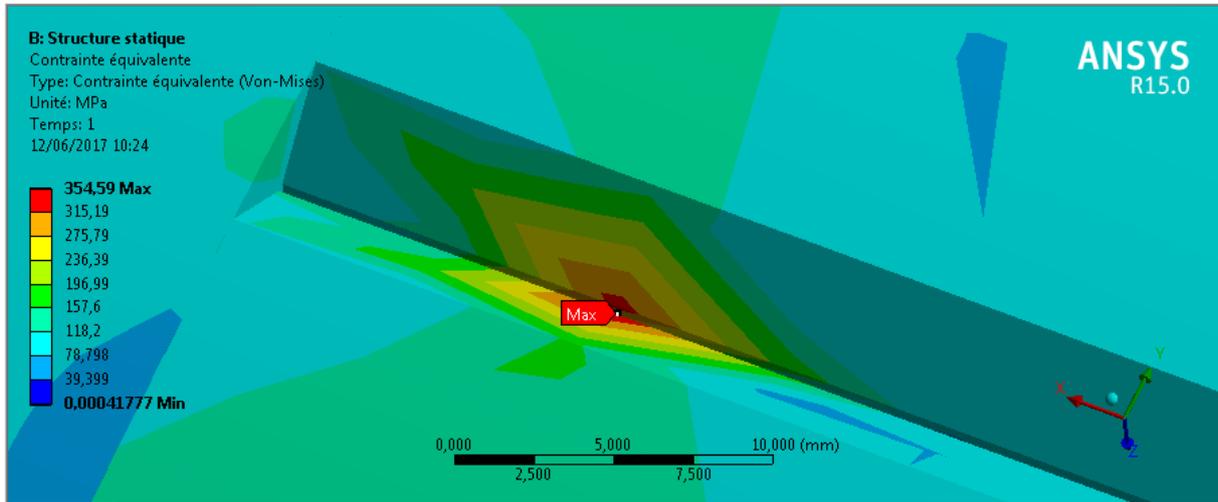


Fig4.17 : zoom sur la zone dangereuse

D'après la figure.4.17 on remarque que la zone dangereuse se situe au niveau de l'emplacement de la soudure, la contrainte équivalente varie entre 157.6 MPa jusqu'à 354.59 MPa

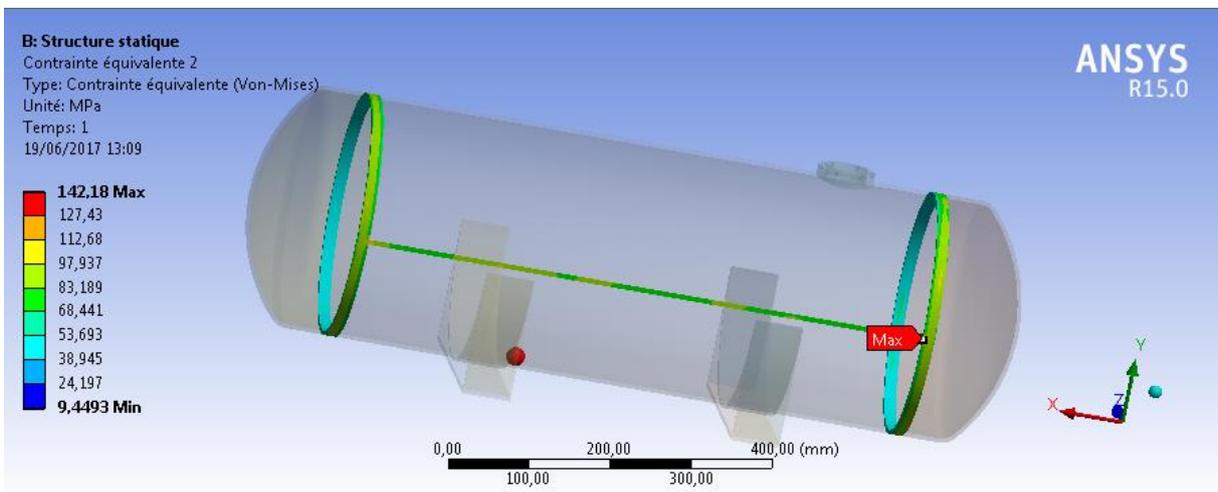


Fig4.18 : distribution des contraintes équivalentes

La figure.4.18 montre la contrainte équivalente sur les cordons de soudure, elle varie entre 9.4493 MPa et 142.18 MPa

On conclut si il y'a une rupture de réservoir, elle sera au niveau de la zone de contact entre le cordon de la soudure et le cylindre de réservoir.

4.5 .2 Le déplacement :

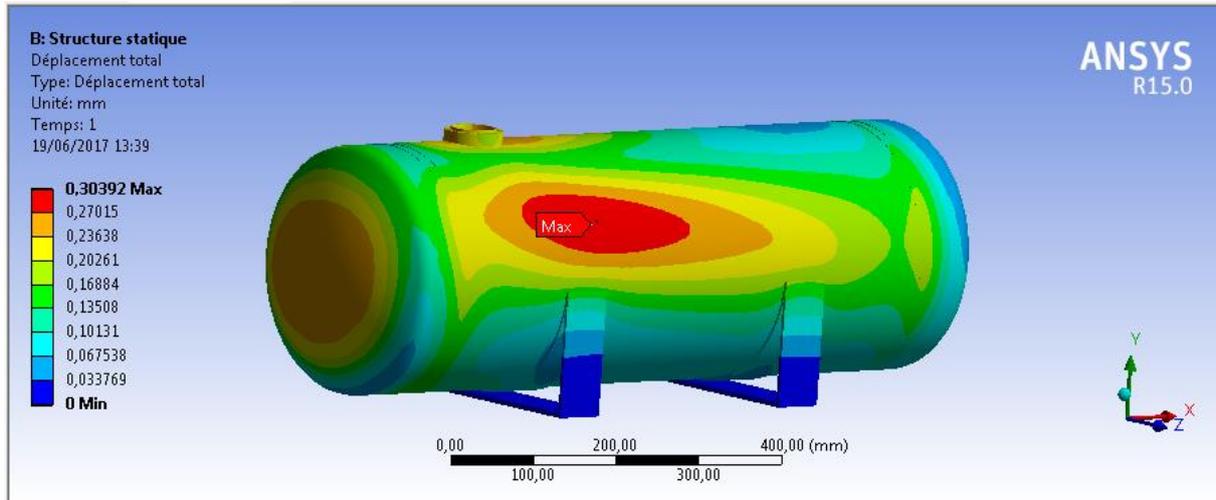


Fig4.19 : le déplacement total

D'après cette figure on remarque que le déplacement total et maximal au niveau de cylindre, précisément du cote de soudage, il atteint 0.30392 mm

4.5 .3 La déformation élastique équivalente :

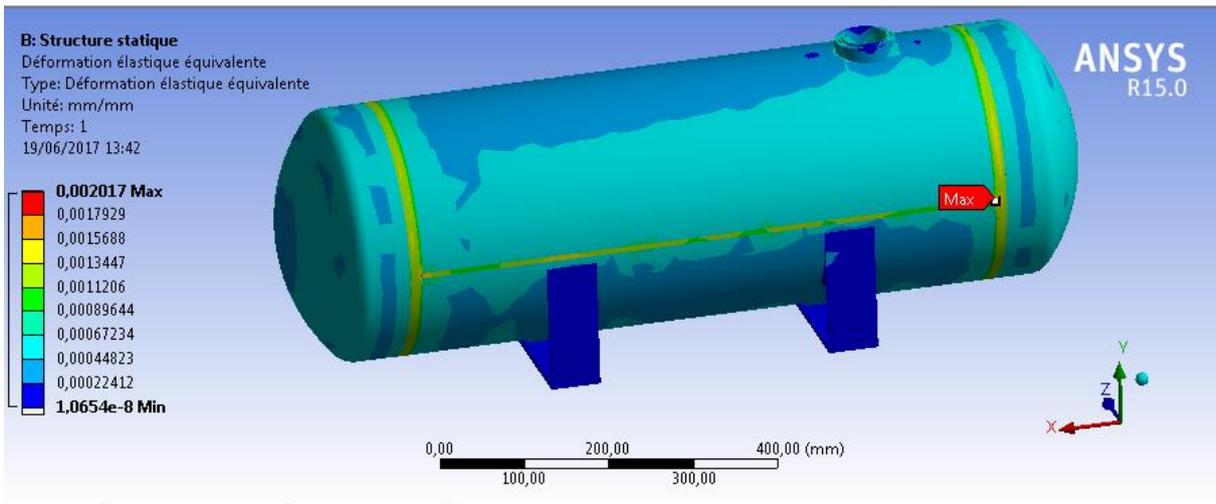


Fig4.20 La déformation élastique équivalente

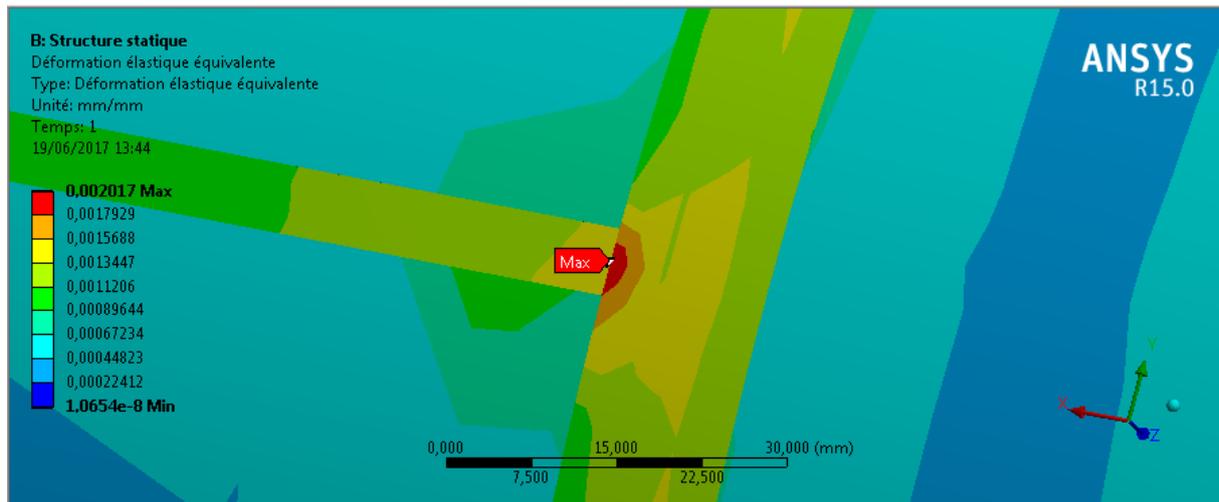


Fig4.21 : zoom sur la zone maximale

D'après la figure 20 on remarque que la déformation élastique équivalente varie entre 0,002017 MPa et 1,0654e-8 MPa,

La déformation est maximale sur le contact des deux soudures

4.6 Conclusion :

La contrainte équivalente maximale dans le réservoir ne dépasse pas la limite d'élasticité de l'acier choisi et le matériau de la soudure, on conclut donc que s'il y'a une rupture, elle se fera par détachement de la soudure au niveau du cylindre

Introduction générale

, ce projet nous a permis de voir l'aspect pratique des connaissances acquises durant notre formation

L'objectif visé qui était de faire une étude détaillée de faisabilité d'une bouteille de gaz en GPL, la réalisation du réservoir d'eau industrielle et de l'ossature tournante a été déjà faite cependant en raison du retard sur la livraison des composants commandés de l'extérieur, la réalisation complète de la machine et l'étude des coûts sont en cours.

Ainsi ce projet nous a permis :

- dans un premier temps de comprendre le processus de fabrication des bouteilles de gaz en générale.

- dans un second temps de distinguer les différentes parties de l'ancien banc afin de définir un cahier des charges que l'on a respecté en dimensionnant les composants qui n'existaient pas, en vérifiant ceux qui existent et en faisant un choix parmi les fournisseurs de ces pièces.

La réalisation complète de la machine permettra à SITRA d'atteindre son objectif qui est de produire 1800 bouteilles par jours. Dans le futur, dresser un bon planning de maintenance de la machine et automatiser la pose et l'évacuation des bouteilles ne permettra-t-il pas à l'entreprise de doubler sa production ?

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons étudié les aspects théoriques de la faisabilité de la bouteille de stockage en GPL destiné au véhicule de moyen cylindré.

On a défini les propriétés mécaniques de l'acier utilisé dans ce cas. L'étude de la résistance de la bouteille et les contraintes subie à cause d'une grande pression du gaz GPL sont déterminé et la tôle de l'acier E36 peut subir ses efforts.

Notre travail nous a permis de donné la forme de la bouteille utilisé dans plusieurs des cas des véhicules.

Nous estimons que le travail présente une initiation de plusieurs études du comportement des bouteilles de gaz GPL dans des conditions extrêmes.

Ce travail peut être pour suit par des travaux de recherche sur le plan de mesure en forme.

Introduction générale

L'Algérie a mené depuis les années 1980 une politique de développement du GPL carburant en substitution des carburants traditionnels et notamment les essences, en raison de ses réserves importantes en GPL et pour lutter contre la pollution.

Cette politique a actuellement atteint sa maturité du fait de :

- l'existence d'un parc relativement important de véhicules convertis au GPL,
- la mise en place à travers le territoire d'installateurs de kits GPL sur véhicules,
- la disponibilité d'un réseau important de stations-service distribuant le GPL,
- la demande croissante en ce produit,
- prix du GPL/C à la pompe très attractif (différentiel important avec les essences),
- l'utilisation du bupro dont la teneur en butane autorisée peut atteindre 45%, rend possible l'usage du GPL provenant directement des unités de traitement du gaz naturel et de pétrole du Sud du pays.

Ce créneau, qui nécessite le renforcement du réseau de distribution, la mise en place de capacités de stockage et des moyens de transport adéquats, est une opportunité certaine aux investisseurs.