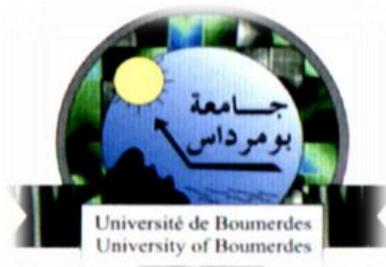


REPBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Sciences de L'Ingénieur
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Génie Mécanique

OPTION : construction mécanique

THEME

ÉTUDE ET RÉ-CONCEPTION D'UN RÉSERVOIR
COMBUSTIBLE EN ALUMINIUM

Présenter par :

- ❖ **DIDI ABDELHAK.**
- ❖ **BEN ALLAG MOHAMED.**

Promoteur : Mr. MECHAKRA .H

Encadreur : Mr. BOUMERDAS .M

Promotion 2017 - 2018

Remerciements

*Nous remercions **ALLAH** qui nous a donné la force et la patience pour terminer ce travail.*

Nous exprimons nos sincères remerciements :

À nos parents pour leur contribution pour chaque travail que nous avons effectué.

*A notre promoteur **MECHAKRA-H** et l'encadreur **BOUMERDAS-M** pour leur aide.*

*A l'ensemble des enseignants du département de Génie Mécanique et spécialement ceux de la classe **CONSTRUCTION MECANIQUE**.*

Sans oublier ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et ceux qui ont fait l'honneur de juger ce mémoire.



Je dédie ce mémoire :



*À mes très chers **parents** pour leurs précieux conseils et leurs grands sacrifices durant toutes mes années d'études. Je leur dis merci pour le soutien et l'encouragement.*

*À tous les membres de la famille **DIDI et BEN ALLAG** qui ont été toujours à mes cotées.*

*À mon Binôme **BEN ALLAG MOHAMED.***

*À tous mes collègues du groupe **MCM16** en générale*

Et bien sûr à toute l'INGM et à tous mes professeurs qui m'ont soutenue

DIDI ABDELHAK





Je dédie ce mémoire



*À mes très chers **parents** qui m'a soutenu et encouragé pour ma réussite par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*À tous les membres de la famille **BEN ALLAG et DIDI** qui ont été toujours à mes cotées.*

*À mon Binôme **DIDI ABDELHAK**,*

*À tous mes collègues du groupe **MCM16** en générale*

Et bien sûr à toute l'INGM et à tous mes professeurs qui m'ont soutenue

BEN ALLAG MOHAMED



ملخص

في هذا الموضوع تطرقنا إلى دراسة تصميم أو إعادة تصميم منتج صناعي أين استعملنا وسائل مختلفة منها: برامج الرسم والتصميم والمحاكات.

لقد اتبعنا في هذه الدراسة طريقة عمل من أجل إنجاز نموذج عن المنتج والذي هو عبارة عن خزان وقود خاص بحافلة النقل المدرسي "السلامة" يصنع باستعمال الفولاذ وقمنا بإعادة تصميمه والقيام بدراسته وذلك باستعمال الألمنيوم مع متابعة جميع مراحل التصميم.

إن الهدف من هذا العمل إعادة تصميم هذا الخزان بالألمنيوم مع دراسة مدى تحمله للقوى المطبقة على النموذج الأصلي، وكذا إنجاز مقارنة بينهما لنستخلص مدى فعاليته وملاءمته.

الكلمات المفتاحية: خزان الوقود، التصميم، المحاكات

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons abordé l'étude de la conception et le ré conception d'un produit industriel ou nous avons utilisé différents moyens tels que des logiciels de dessin, de conception et des simulations.

Nous avons suivi dans cette étude une méthode de travail pour compléter le modèle d'un nouveau produit, à savoir un réservoir de carburant pour l'autobus de transport scolaire « alssalama » fabriqué en acier et nous avons suggéré d'étudier la fabrication de ce réservoir avec l'aluminium et ça par la suivant les différentes étapes de la conception.

Le but de ce travail est de conception un nouveau réservoir en aluminium avec une étude de possibilité de le porter aux forces appliqué au modèle original, ainsi qu'un faire une comparaison entre eux pour déterminer l'efficacité de ce dernier produit.

Mot clés : réservoir combustible, conception, simulation,

Abstract

In this subject, we referred to the study of the design or redesign of an industrial product where we used different means, such as drawing, design and simulation programs.

In this study, we have followed a method of working on a model of the product, which is a fuel tank for the "safety" school transport bus, which is manufactured using steel and we redesigned it and studied it using aluminum and following all stages of design.

The purpose of this work is to redesign this reservoir with aluminum and to study the extent to which it applies to the forces applied to the original model, as well as to make a comparison between them to determine its effectiveness and suitability.

Key words: fuel tank, simulation, conception

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction	01
Présentation de L'SNVI	
1. Historique de SNVI	02
2. Localisation.....	02
3. Mission de l'entreprise	03
4. Description des infrastructures.....	03
4.1 Division des véhicules industriels.....	03
4.2 Description des procédés de fabrication.....	04
5. Les bâtiments d'usinage et leurs activités	05
5.1 Bâtiment forge.....	05
5.2 Bâtiment mécanique	06
5.2.1 Les secteurs de fabrication.....	06
5.3 Centre Tôlerie Emboutissage	09
5.3.1 Capacité.....	09
5.3.2 Service Méthode.....	09
5.3.3 Atelier de fabrication.....	10
5.3.4. Atelier d'outillage.....	16
CHAPITRE I	
1. Introduction.....	17
2. Type des réservoirs	17
3. Les éléments d'un réservoir combustibles	17
4. Processus de fabrication des réservoirs combustibles.....	18
4.1 Matière première	18
4.2 Coupe à longueur.....	19
4.3 Découpage, Poinçonnage.....	19
4.4 Encochages, Crevées, Soyages	21

Sommaire

4.5 Le cintrage	21
4.6 L'Emboutissage	22
4.6.1 L'outillage et mode d'emboutissage	23
4.6.2 Matériaux et formes d'emboutis	23
4.7 Contrôle de réservoir.....	26
4.8 traitement des surfaces.....	26
4.9 protection de réservoir	26
I.5 Généralité sur les matériaux utilisés pour la conception et le ré conception de réservoir	26
5.1 L'acier	26
5.2 L'Aluminium	28
5.2.1 Principaux Propriétés.....	28
5.2.2 Désignation des Principaux alliages industriels	28
5.2.3 Choix d'alliage d'aluminium pour ré conception de réservoir	31
I.6 Conclusion	31
CHAPITRE II	
1. Définition d'assemblage par soudage	32
2. Les Principaux procédés de soudage utilisé.....	32
2.1 Soudage à l'arc électrique	32
2.1.1 Soudage à l'électrode enrobée	32
2.1.2 Soudage sous flux en poudre	34
2.1.3 Soudage semi-automatique MIG et MAG	35
2.1.4 Soudage à l'électrode réfractaire (TIG)	37
2.2 Soudage par résistance	38
2.2.1 Soudage par points	39
2.2.2 Soudage à la molette.....	40
2.2.3 Soudage par bossages	42
2.3 Soudage à la flamme (au chalumeau)	42
3. Choix d'un procédé	45
4. Soudage de l'aluminium et ses alliages	47
4.1 Soudage à l'arc sous gaz inerte	47
4.2 Soudage avec électrode réfractaire ou procédé TIG	48

Sommaire

4.3 Soudage avec électrode consommable ou procédé MIG	48
4.4 Soudage oxyacétylénique	48
4.5 Soudage par résistance	49
5. Conclusion	49

CHAPITRE III

1. Conception d'un produit.....	50
1.2 La Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O).....	50
1.3 Système de CAO 3D.....	50
1.3 SolidWorks.....	51
2. Conception de réservoir Réf N° 1143617	52
2.1 Conception des embases	52
2.2 Conception d'ensemble tubulaire Réf N°1143624	55
2.3 Conception des deux fonds de réservoir et le chicane	55
2.4 Conception de corp de réservoir Réf N°5010487.....	57
2.5 L'assemblage des éléments de réservoir en acier Réf N°1143617.....	58
3. Ré conception du réservoir en aluminium	59
3.1 Ré conception des embases	59
3.2 Ré conception d'ensemble tubulaire.....	60
3.3 Ré conception des deux fonds et le chicane.....	60
3.4 Ré conception de corps de réservoir en aluminium	64
3.5 L'assemblage des éléments des modèles de réservoir en aluminium...	64
3.5.1 L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 1 ^{er} modèle ...	64
3.5.2 L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 2 ^{ème} modèle...	65
3.5.1 L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 3 ^{ème} modèle..	65
4. Conception des deux supports	66
5. Conception de Cadre Châssis du autobus « Alssalama » (25L4).....	66
6. Montage de réservoir avec le cadre châssis	66
7. Conclusion.....	67

CHAPITRE IV

1. Simulation de réservoir en acier Réf N°1143617.....	68
1.1 Les condition aux limites	68
1.2 Le maillage	69

Sommaire

1.3 Les résultat de simulation de réservoir en acier	69
1.4 Interprétation des résultats.....	70
2. Simulation réservoir d'aluminium 1^{er} modèle	71
2.1 Les condition aux limites	71
2.2 Le maillage	71
2.3 Les résultats de simulation.....	72
2.4 Interprétation des résultats	73
3. Simulation réservoir en aluminium 2^{ème} modèle	73
3.1 Les condition aux limites	73
3.2 Le maillage	74
3.3 Les résultats de simulation.....	74
3.4 Interprétation des résultats	75
4. Simulation réservoir d'aluminium 3^{ème} modèle	76
4.1 Les condition aux limites	76
4.2 Le maillage.....	76
4.3 Les résultats de simulation	77
4.4 Interprétation des résultats	78
5. comparaison des nouveaux modèles avec le réservoir en acier	78
6. Conclusion	80

N° de figure	Titre de figure	N°p
Figure 01	Localisation de la SNVI_VRI	02
Figure 02	Les produits de l'SNVI.	03
Figure 03	Schéma synoptique de processus général de fabrication	04
Figure 04	Schéma synoptique de processus de fabrication des pièces forgée.	06
Figure 05	Service méthode.	10
Figure 06	schéma synoptique de processus de fabrication de secteur 144.	10
Figure 07	schéma synoptique de processus de fabrication secteur 145	10
Figure 08	image des secteurs 146/147	11
Figure 09	schéma synoptique de processus de fabrication secteur146/147	11
Figure 10	soudeuses par point(a) et par molette(b) pour assemblé le Corp de réservoir	12
Figure 11	schéma synoptique de processus de fabrication secteur 148	12
Figure 12	schéma synoptique de processus de fabrication Secteur 181	13
Figure 13	schéma synoptique de processus de fabrication Secteur ferrage cabine	13
Figure 14	Image de secteur 155	14
Figure 15	schéma synoptique de processus de fabrication Secteur 155	15
Figure 16	schéma synoptique de processus de fabrication	15
Figure 17	image d'Atelier d'outillage	16
	Chapitre I	
Figure I.1	M 120 luttés contre incendie.	17
Figure I.2	Les éléments d'un réservoir combustibles	18
Figure I.3	schéma des éléments d'un réservoir combustibles.	18
Figure I.4	Coupe à longueur	19
Figure I.5	Découpage, Poinçonnage.	19
Figure I.6	Détermination de l'effort de découpage-poinçonnage	20
Figure I.7	Encochages, Crevées, Soyages.	21
Figure I.8	Cintreuse	21
Figure I.9	les étapes de cintrage (roulage).	22
Figure I.10	Procédé d'emboutissage.	22
Figure I.11	Principe de l'emboutissage.	23
Figure I.12	Modes de déformation par embouté	23
Figure I.13	Emboutissage de pièce demi sphérique.	25
Figure I.14	Contrôle d'un réservoir	26
Figure I.15	peinture entée la roille.	26
Figure I.16	diagramme fer/carbone.	27
	Chapitre II	
Figure II.1	Soudage à l'électrode enrobée.	28
Figure II.2	Caractéristiques de l'électrode.	29
Figure II.3	Principe de Soudage sous flux en poudre.	30
Figure II.4	principe Soudage semi-automatique Mag/Mig	31
Figure II.5	Principe Soudage à l'électrode réfractaire.	32

Figure II.6	Forme des électrodes pour soudage TIG.	33
Figure II.7	Procédés de soudage par résistance	34
Figure II.8	Soudage par points.	35
Figure II.9	Soudage à la molette.	36
Figure II.10	soudeuses par résistance, (a) par molette, (b) par point.	37
Figure II.11	exemples typiques de soudé Par bossages	38
Figure II.12	Soudage à la flamme.	39
Figure II.13	Défauts des soudures.	40
Figure II.14	Correspondance épaisseurs-procédés.	41
	Chapitre III	
Figure III.1	Principales applications d'un système CAO/DAO 3D	51
Figure III.2	Réservoir combustible monté dans le cadre châssis.	52
Figure III.3	conception embase de départ et vidange.	52
Figure III.4	Conception Embase de jauge.	53
Figure III.5	Conception d'Embase de départ.	53
Figure III.6	Conception de joint fibre	53
Figure III.7	les étapes de conception de bouchon	54
Figure III.8	Conception de manchette	55
Figure III.9	Conception de Tube de remplissage	55
Figure III.10	Conception de fond gauche	56
Figure III.11	Conception de fond droit	56
Figure III.12	Conception de chicane	57
Figure III.13	conception de corps, (esquisse avec la fonction révolution)	57
Figure III.14	corps de réservoir fini	58
Figure III.15	l'assemblage des éléments de réservoir	58
Figure III.16	vue à l'intérieure de réservoir en acier	59
Figure III.17	Ré conception des embases de réservoir.	59
Figure III.18	Ré conception d'ensemble tubulaire, (a)tube, (b) manchette.	60
Figure III.19	fond aluminium droit modèle 01	60
Figure III.20	fond aluminium droit modèle 02	61
Figure III.21	fond aluminium droit modèle 03	61
Figure III.22	fond aluminium gauche modèle 01	62
Figure III.23	fond aluminium gauche modèle 02.	62
Figure III.24	fond aluminium gauche modèle 03	63
Figure III.25	Conception de chicane de réservoir en aluminium	63
Figure III.26	Conception de corps des réservoirs en aluminium	64
Figure III.27	L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 1 ^{er} modèle	64
Figure III.28	Vue à l'intérieur de réservoir en aluminium 1 ^{er} modèle	65
Figure III.29	L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium modèle 02	65
Figure III.30	L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium modèle 03	65
Figure III.31	Conception des deux supports	66
Figure III.32	Cadre Châssis de l'autobus « Alssalama » (25L4)	66
Figure III.33	L'emplacement de réservoir dans l'autobus Assalama	66
Figure III.34	l'assemblage de réservoir avec les supports et le châssis.	67

	CHAPITRE IV	
Figure IV.1	condition aux limites, géométries fixes	68
Figure IV.2	condition aux limites l'intérieur de réservoir, P=0.03Mpa	68
Figure IV.3	Maillage volumique	69
Figure IV.4	Répartition des contrainct Von Mises	69
Figure IV.5	Répartition des déplacements	70
Figure IV.6	Répartition des déformations	70
Figure IV.7	Condition aux limites, géométries fixes	71
Figure IV.8	Condition aux limites l'intérieur de réservoir, P=0.03Mpa	71
Figure IV.9	Maillage volumique	72
Figure IV.10	Répartition des contrainct Von Mises	72
Figure IV.11	Répartition des déplacements	72
Figure IV.12	Répartition des déformations	73
Figure IV.13	Condition aux limites, géométries fixes	73
Figure IV.14	Condition aux limites l'intérieur de réservoir, P=0.03Mpa	74
Figure IV.15	Maillage volumique	74
Figure IV.16	Répartition des contrainct Von Mises	74
Figure IV.17	Répartition des déplacements	75
Figure IV.18	Répartition des déformations	75
Figure IV.19	Condition aux limites, géométries fixes	76
Figure IV.20	Condition aux limites l'intérieur de réservoir, P=0.03Mpa	76
Figure IV.21	Maillage volumique	76
Figure IV.22	Répartition des contrainct Von Mises	77
Figure IV.23	Répartition des déplacements	77
Figure IV.24	Répartition des déformations	77
Figure IV.25	Graphe de comparaison des contrainct Von Mises et les déplacements.	79
Figure IV.26	Graphe de comparaison de poids des réservoirs	80

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau 01 : résistance au cisaillement (R_c) pour les aciers ou les métaux non ferreux	20
Tableau 02 : Caractéristiques d'acier utilisé	27
Tableau 03 : Principales familles d'alliages d'aluminium corroyés	31

Chapitre II

Tableau II.1 : <i>Protections gazeuses utilisées en soudages MIG et MAG</i>	36
Tableau II.2 : <i>Emploi des gaz en soudage TIG</i>	38

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Résultat maximal de simulation de réservoir en acier.....	70
Tableau IV.2 : Résultat maximal de simulation de modèle 01.....	73
Tableau IV.3 : Résultat maximal de simulation de modèle 02.....	75
Tableau IV.4 : Résultat maximal de simulation de modèle 03.....	78
Tableau IV.5 : Résultat maximale de simulation des modèles de réservoir.....	78
Tableau IV.6 : Comparaison des en cial caractéristiques des modèles.....	79

Introduction

Introduction

Il n'y a pas d'investissement plus utile, plus productif plus économique pour une entreprise que d'investir dans le développement de ses produits, en effet, la conception occupe aujourd'hui une place prédominante dans l'amélioration des produits et dans l'innovation.

Les méthodes de conception évoluent avec l'apparition de nouvelles normes et un marché de plus en plus exigeant. Traditionnellement, le développement d'un produit était réalisé en plusieurs étapes : l'ingénieur de conception conçoit un produit et parfois construit un prototype, une fois le prototype testé et approuvé, l'équipe de fabrication élabore des plans de fabrication et lance la production. Par la suite, ce produit est commercialisé.

Après son utilisation, les défauts de conception (défauts d'utilisation, sécurité, maintenabilité,...etc.) sont transmis au concepteur pour faire un ré conception, qui consiste à modifier et améliorer le produit en fonction des nouvelles exigences.

Le but de ce travail c'est l'étude d'un réservoir combustible fabriqué en acier de l'autobus « assalama » (25L4) et réaliser une étude de ré conception d'un nouveau modèle de réservoir en aluminium, en tenant d'utilisation des outille technologiques nécessaires comme les logiciel de conception assisté par ordinateur et la simulation, puis faire une comparaison entre les deux réservoirs pour distinguer pour ce cas : que l'aluminium est un bon alternative de l'acier ou non ?

Dans ce contexte, le présent travail s'inscrit dans le cadre de la préparation d'un mémoire de fin d'étude (master2, option construction mécanique), qui a pour objectif à L'étude et le ré conception d'un réservoir combustible de l'autobus « 25L 4 Assalama » en aluminium.

Afin de mieux illustrer notre travail nous avons accomplir nécessairement de présenter notre mémoire comme suit :

- Présentation de l'entreprise.
- Chapitre I : généralité sur les réservoirs et les techniques de fabrication.
- Chapitre II : généralité sur les techniques de soudage.
- Chapitre III : Conception et ré conception de réservoir combustible.
- Chapitre IV : simulation et comparaison des deux réservoirs.
- Conclusion et perspective.

Présentation de l'Entreprise « SNVI »

1. Historique de SNVI :

L'entreprise Nationale des véhicules industriels (SNVI) est issue de la restructuration de la Société Nationale de Construction Mécanique (SONACOM) elle-même qui a connu 3 grandes phases d'évolution depuis l'implantation de la société BERLIET le 02 juin 1957 sur le territoire Algérien :

--1967- 1981 : après l'indépendance (1962), l'industrie mécanique en Algérie était au stade embryonnaire se limitant aux besoins de l'époque. En 1967 fut créé SONACOM regroupant en son sein 11 entreprises autonomes et a hérité du patrimoine de la société africaine des automobiles BERLIET (S.A.A.B/S.A) après sa dissolution.

--1981 – 1995 : Suit au bilan dressé par les autorités du pays sur l'état de fonctionnement de l'économie nationale, la SONACOM adopte un nouveau schéma organisationnel donnant ainsi naissance à la SNVI et l'état lui consacre le statut d'Entreprise socialiste à caractère économique. 1995 – à nos jours : dès mai 1995, la SNVI change de statut juridique pour devenir une société par action à la capitale de 2 ,2 Milliards de Dinars (22 Millions d'euro).

2. Localisation :

Le Complexe Véhicules Industriels VIR de Rouïba là où j'ai effectué mon stage est situé à une trentaine de Km à l'Est d'Alger. Il s'étend sur une superficie de 100 hectares dont 177125 m² couverts et emploie près de 3000 personnes.

L'entreprise est limitée :

Au Nord : par la route nationale N° 05, au Sud par la voie ferroviaire à l'Est par l'entreprise HENKEL, à l'Ouest par l'entreprise RENAULT.



Photo 1 : Côté nord de la division



Photo 2 : Côté sud de la division

Figure N°01 : Localisation de la SNVI_VRI.

3. Mission de l'entreprise

L'Entreprise Nationale des Véhicules Industriels (SNVI) issue de la restructuration de la SONACOME est chargée dans le cadre du plan national du développement économique et social de : La recherche ; Le développement ; L'importation ; La distribution ; La fabrication.

Elle se spécialise dans le secteur des véhicules industriels et leurs composants dont les camions ; Les autocars, autobus, minicars, minibus ; Les camions spéciaux Le matériel tracté (remorques, semi-remorques, et autres...) ; Les pièces brutes de fonderie.



Figure N°02 : Les produits de l'SNVI.

4. Description des infrastructures :

4.1 Division des véhicules industriels : comprend plusieurs bâtiments cités ci- dessous :

- ✓ Bâtiment mécanique d'une superficie de 40625 m²
- ✓ Bâtiment des services généraux d'une superficie de 7500 m²
- ✓ Bâtiment forge d'une superficie de 5500 m²
- ✓ Bâtiment de montage des camions d'une superficie de 32000 m²
- ✓ Bâtiment emboutissage d'une superficie de 32000 m²
- ✓ Bâtiment de montage autobus d'une superficie de 27000 m²
- ✓ Bâtiment de polyester, sellerie d'une superficie de 9000 m²

Présentation de l'entreprise

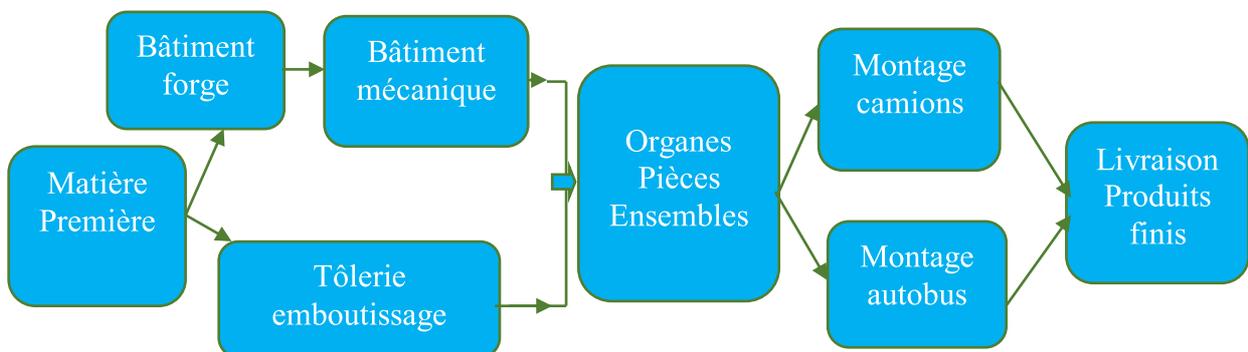
- ✓ Droguerie d'une superficie de 1440 m²,
- ✓ Bâtiment réception contrôle d'une superficie de 7500 m²
- ✓ Bâtiment administration et autres d'une superficie de 16000 m²
- ✓ Bloc social (cantine) d'une superficie 2760 m².
- ✓ En plus de la surface couverte qui est de 177125 m²,
- ✓ constituée d'une aire à ciel ouvert répartie comme suit :
 - Aire de stockage des produits finis d'une superficie de 177 318 m² ;
 - Les annexes de **23 451 m²** de surface ;
 - Espaces verts de **64 830 m²** de surface et les voiries qui occupent une superficie de **102000 m²**.

4.2 Description des procédés de fabrication :

La division a pour activité le montage de camions et d'autobus, leurs ventes ainsi que la distribution des pièces de rechange, ce qui nécessite la mise en œuvre d'une technologie variée et complexe au sein des différents centres de fabrication.

À partir des pièces et organes fabriqués par les différents centres de production ainsi que les pièces et les sous-ensembles achetés sur le marché local et étranger, les véhicules (camions, cars et bus) sont assemblés au niveau des centres de montage des camions et des cars puis livrés aux unités commerciales.

L'unité **DVI** regroupe **cinq(05) bâtiments** de production dont trois affectés à l'usinage et deux autres au montage



FigureN°03 : Schéma synoptique de processus général de fabrication

5. Les bâtiments d'usinage et leurs activités :

Ces bâtiments englobent les bâtiments **forge, mécanique et tôlerie emboutissage.**

5.1. Bâtiment forge :

L'installation de production des bruts des pièces forgées est située en face du bâtiment de production des utilités, il comporte :

- Une aire de stockage des matières premières, Un atelier de production, Un atelier d'outillage.

a) Aire de stockage : Cette zone est réservée pour le stockage des matières premières achetées.

b) Atelier de production : Les pièces forgées passe par plusieurs étapes à savoir :

-Le débitage qui consiste au découpage de l'acier par un cisailleur en différentes formes selon la commande .Les différentes pièces découpées subissent soit :

-Un estompage : dans lequel a lieu le chauffage de l'acier coupé dans des fours, le matriçage à l'aide de marteaux pilons pour l'obtention de la forme désirée et l'ébarbage qui sert à éliminer l'excédent de matières.

-Une forge mécanique : qui consiste à chauffer la matière de débitage dans des fours de combustion à une température très élevée, suivie d'un forgeage qui comprend la mise en forme ou la déformation du métal à chaud entre deux outils plats par martelage ou par pression à l'aide d'une presse de forge ou d'une machine à forger.

-Le meulage : qui sert à affûter un matériau avec un disque rotatif.

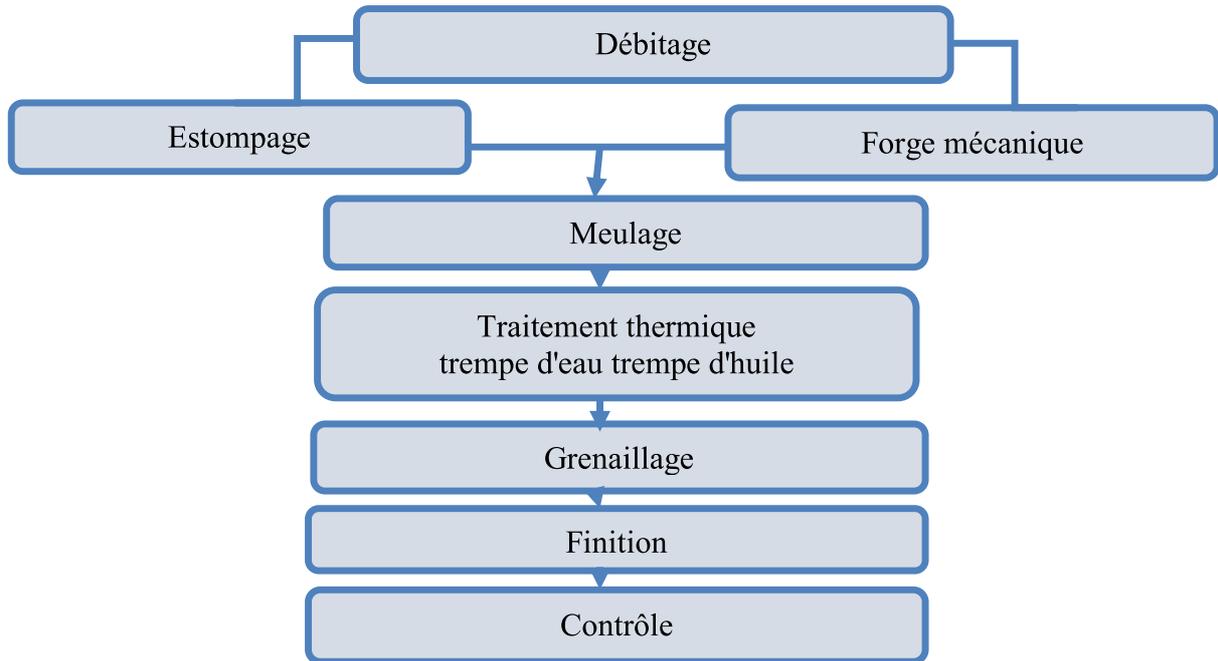
-Le traitement thermique : qui consiste à lui faire subir des transformations de structure grâce à des cycles prédéterminés de chauffage et de refroidissement afin d'en modifier les caractéristiques mécaniques : dureté, élasticité, ..., etc. Ce traitement a lieu au moyen d'une trempe d'huile de capacité estimée à 4000 l.

-Le grenailage : est une technique consistant à projeter, à l'aide d'une grenailleuse, des grains de fer avec une grande vitesse sur la surface des diverses pièces dont le but est le traitement des surfaces de la pièce usinée pour en améliorer l'aspect.

-La finition : des pièces qui se fait manuellement ou par des machines servant au contrôle des dimensions de la pièce (axe de symétrie, diamètre, etc.,...)

-Le contrôle : qui se fait visuellement par un métalloscope utilisant les rayons ultraviolets pour le contrôle de la fissuration des pièces.

-Atelier d'outillage : situé en face du bâtiment forge, cet atelier sert à la conception, la fabrication et la réparation des matrices de la forge utilisant le plomb comme matière première



FigureN°04 : Schéma synoptique de processus de fabrication des pièces forgées.

5.2. Bâtiment mécanique :

Ce bâtiment comprend neuf secteurs (**ERMOD**) de production, des bureaux de méthode et un laboratoire de chimie industrielle destiné pour le contrôle de la qualité, ce bâtiment usine des ponts, des essieux, des boîtes à vitesse, des carters de direction et des pièces diverses (ferrures pour cadres châssis,..., etc.).

La procédure de production suit les étapes suivantes :

- Réception de matières premières pour l'unité fonderie (UFR) et l'atelier forge,
- Transformation de la matière première au niveau des ERMODS de fabrication,
- Magasin de stockage.

5.2.1 Les secteurs de fabrication :

5.2.1.1 Secteur de décolletage :

il sert à usiner toutes les pièces de décolletage (visserie, rondelles, axes de roues et axes de ressort), cet ERMOD regroupe les activités d'usinage, dont les plus répandues sont le débitage, le perçage, le tournage, le fraisage, le forage, la rectification (surface cylindrique ou

plane) et le filetage consistant à former un filet le long d'une surface cylindrique par enlèvement de copeaux (ensemble des filets d'une vis, d'un écrou) ,filetage et un moulage par écrasement de la matière.

5.2.1.2 Secteur d'usinage - engrenage : l'engrenage est un système mécanique composé de deux ou plusieurs roues dentées engrenées servant à la transmission du mouvement de rotation entre elles, il comprend les étapes suivantes : tournage, taillage, brochage.

5.2.1.3 Secteur de traitement thermique :

Cet ERMOD traite les pièces provenant de divers secteurs de fabrication dont le but est d'améliorer les propriétés mécaniques et métallurgiques des pièces (dureté, résistance à la traction, élasticité, etc.). Les différentes étapes de traitement sont :

- **Le lavage des pièces** qui se fait dans des bacs à l'intérieur des fours à une température comprise entre 85-95°C, remplis d'un mélange d'eau et de poudre blanche (parathion), cette opération est applicable avant et après tout traitement qui sert à éliminer les impuretés (huiles, copeaux...etc.).
- **La cémentation** qui consiste à durcir la surface des pièces par induction du carbone dans un four ayant une température variant entre 880-920°C avec un du ciment liquide, cette opération est applicable pour les pièces dont l'épaisseur de carbone est inférieure à 0.2%.
- **La trempe à l'huile** dans laquelle les pièces sont plongées et chauffées à une température variant entre 800-900°C à l'intérieur de fours de différentes capacités, ce traitement permet le durcissement et le redressage des pièces déformées.
- **Le grenailage** consiste à projeter à grande vitesse des billes sur la pièce à traiter dont le but d'un nettoyage (enlèvement de rouille, calamine, l'excès de carbone...). Les billes utilisées sont en acier, de diamètre compris entre 0.4-0.8 mm.
- **Le bain de plomb** dans lequel sont plongées les pièces déformées et sont chauffées à 550°C dans des fours pour faciliter leur redressage et d'effectuer les revenus partiels des pièces (rendre la pièce moins fragile).
- **La cémentation liquide des pièces** qui a lieu dans des fours à creuset interchangeables :
 - À base de chlorure de sodium et 15% de CN, ce traitement à été remplacé dans les années 1980 par un autre procédé carbocel (sel de cémentation sans cyanure), cette opération est réalisée à une température comprise entre 880 et 920°C.

Présentation de l'entreprise

- Avec le sursulf : c'est un traitement thermo-chimique de sulfo-nitruration en bain de sels fondus : sursulf (mercure et composés minéraux) à une température égale à 570°C, les avantages conférés à ce traitement sont l'accroissement de la dureté superficielle, l'amélioration à la résistance et à la corrosion atmosphérique,

• **Le Bain de phosphatation** : ce traitement de surface des pièces s'effectue par réaction chimique dans des bains acides à une température qui varie entre 85 et 95°C avec la vapeur d'eau pour donner une couche de phosphatation de quelques micro sur les pièces dont le rôle est la protection contre les phénomènes de corrosion, les produits utilisés sont la ponderite (polychlorobiphényle) et le parcolobrite (parathion) dans 500 l d'eau.

• **Le Sablage** : avec la silice de sable à l'intérieur des cabines pour éliminer les impuretés et créer une rugosité sur les faces des pièces à métalliser.

• **La métallisation** dans une cabine qui consiste à déposer une couche de molybdène oxy-acétylène sur les pièces travaillant au frottement et à l'usure.

5.2.1.4 Secteur d'usinage des carters de boites : La fabrication des boites à vitesse, des boites de direction, des fourchettes et toutes les pièces de direction a lieu dans cet ERMOD et passe par plusieurs étapes : le tournage, le fraisage, le filetage du chemin de la bille et le perçage.

5.2.1.5 Secteur d'usinage des carters de ponts et des corps essieux :

La fabrication passe par le tournage, le fraisage, le brochage et le perçage.

5.2.1.6 Secteur d'usinage des ponts et des pièces diverses : Ce secteur fabrique des tambours, des fusées et des trompettes, passant par des étapes, à savoir : le tournage, le fraisage, le rivetage, le brochage, la rectification cylindrique et le perçage.

5.2.1.7 Secteur d'usinage des ferrures : Les opérations ayant lieu dans ce secteur sont : le tournage, le fraisage, le perçage, le cintrage et le banc d'essai.

5.2.1.8 Secteur de montage des boites et des ferrures : Dans cet ERMOD se fait :

○ L'assemblage des différentes pièces pour le montage des boites et des ferrures, selon les opérations citées ci-dessous : le montage, le soudage, l'emmanchement.

○ La peinture avec un solvant dans une cabine à rideau d'eau.

○ Le banc d'essai qui sert à contrôler la pièce finie.

5.2.1.9 Secteur de montage des ponts et des essieux : C'est un ensemble d'assemblage des organes qui passe par le montage, l'emmanchement, la peinture et le banc d'essai.

5.2.1.10 Le magasin de stockage : Ce magasin sert au stockage des matières premières et des produits finis.

5.3 Centre Tôlerie Emboutissage :

Le centre TÔLERIE EMBOUTISSAGE (TE) est considéré comme l'un des plus importants bâtiments de la **DVI** dépendant de la **direction du montage véhicule**. Il est chargé de la fabrication des **cabines** et des **ensembles longerons** pour toutes les **gammes de camions, cars et bus** ainsi que d'autres activités relevant de sa technicité sont également réalisées dans ce centre. Il s'agit notamment de :

- Toutes les pièces de tôlerie.
- Toutes les pièces nécessitant de gros moyens d'emboutissage.
- Bâches à gasoil.
- Réservoirs d'air.

5.3.1 CAPACITÉ :

La capacité du centre tôlerie emboutissage est de 7500 véhicules par an (toutes gammes confondues), réalisée par un effectif d'environ 372 travailleurs dont ~ 180 directe et 192 indirecte.

Le centre tôlerie emboutissage s'étale sur une superficie ~**32226** m² équipée :

- De 265 machines.
- D'environ 815 outils (entre petits et gros outils).
- D'un réseau d'énergie électrique 220/380V.
- D'un réseau d'air comprimé de 6 bars.
- D'un réseau des eaux industrielles de 6 bars.

5.3.2 SERVICE MÉTHODES :

Le service des méthodes, représente un ensemble de secteurs d'études. Sa fonction est d'établir les dossiers d'outillages et d'instructions de fabrication, analyse et mesure du temps, études d'outillages et des montages d'assemblages. Intégration des nouvelles pièces ou des pièces achetées pour leur réalisation au centre tôlerie emboutissage et rénovation ou réalisation des outils selon les moyens dont dispose l'atelier d'outillage.

Présentation de l'entreprise

Les différents secteurs sont les suivants :

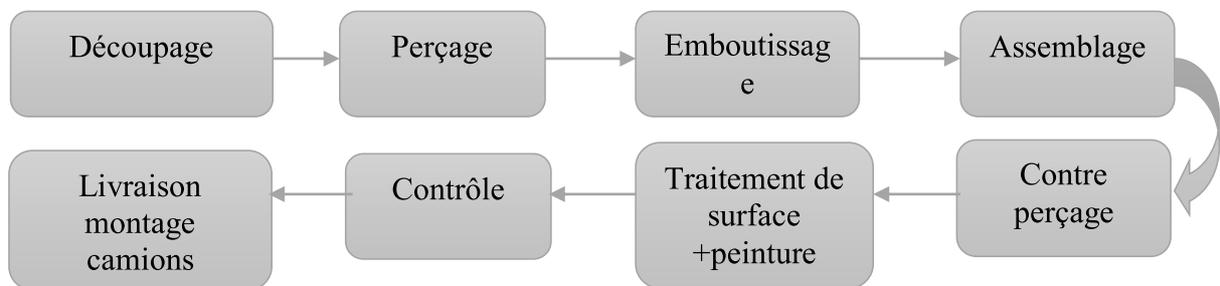
- Le secteur de préparation.
- Le secteur de l'analyse et mesure du temps.
- Le secteur étude des outillages et magasin outillages.
- Le secteur d'industrialisation.



Figure N°05 : Service méthode.

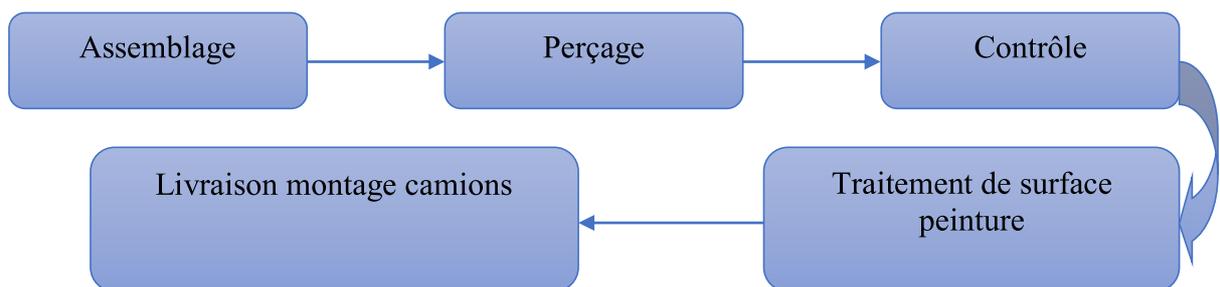
5.3.3 Atelier de fabrication : il comporte plusieurs secteurs de fabrication cités ci-dessous :

a. Secteur 144 : usinage et assemblage des longerons.



FigureN°06 : schéma synoptique de processus de fabrication de secteur 144.

b. Secteur 145 : assemblage de grands ensembles tels que les traverses, les faux plateaux et les plateformes.



FigureN°07 : schéma synoptique de processus de fabrication secteur 145.

c. Secteurs 146 et 147 :

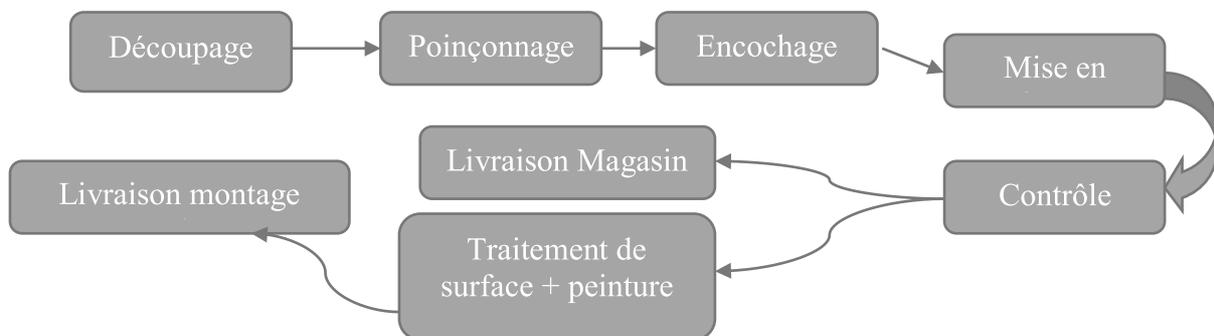
Les secteurs **146 et 147 ont pour vocation**, la préparation des pièces primaires pour les différents secteurs d'assemblage, tout en transformant la tôle d'épaisseur de 1 à 8 mm par les différentes opérations de mise en forme (découpage, poinçonnage, emboutissage et pliage) suivant la gamme du bureau des méthodes et le plan édité par le bureau d'études, avec un parc machines de :

Présentation de l'entreprise

- 8 cisailles (de 1 à 8 mm épaisseurs, la largeur a découpée de 2 à 3 m).
- 8 poinçonneuses (de 25 à 35 tonnes, diamètre de poinçonnage maxi est de 60 mm).
- 2 encocheuses (épaisseur maxi 3 mm).
- 5 plieuses (de 50 à 120 tonnes, largeur maxi 2,5 m).
- 14 presses mécaniques (de 80 à 1000 tonnes, Longueur et largeur maxi 2 x 1 m)
- 5 presses hydrauliques (de 600 à 1000 tonnes, Longueur et largeur maxi 2 x 1 m)



FigureN°08 : image des secteurs 146/147.



FigureN°09 : schéma synoptique de processus de fabrication secteur146/147.

d. Secteur 148 :

Le secteur 148 a pour tâche, l'assemblage des différents réservoirs combustibles et réservoirs à air, pour les différentes gammes des véhicules SNVI.

Avec un parc machines de : □ 2 rouleaux de cintrage. □ 1 soudeuse fixe par points+ 3 pinces à souder par points. □ 2 soudeuses à molettes longitudinales et 2 circulaires.

Présentation de l'entreprise

□ 1 poste à souder oxyacétylénique. □ 1 banc d'essais pour réservoirs à air. □ 1 bac d'épreuve pour réservoirs combustibles. □ 1 poste de pointage semi-automatique □ 1 tour de soudage automatique.



Figure N°10 : soudeuses par point(a) et par molette(b) pour soudé le Corps de réservoir.

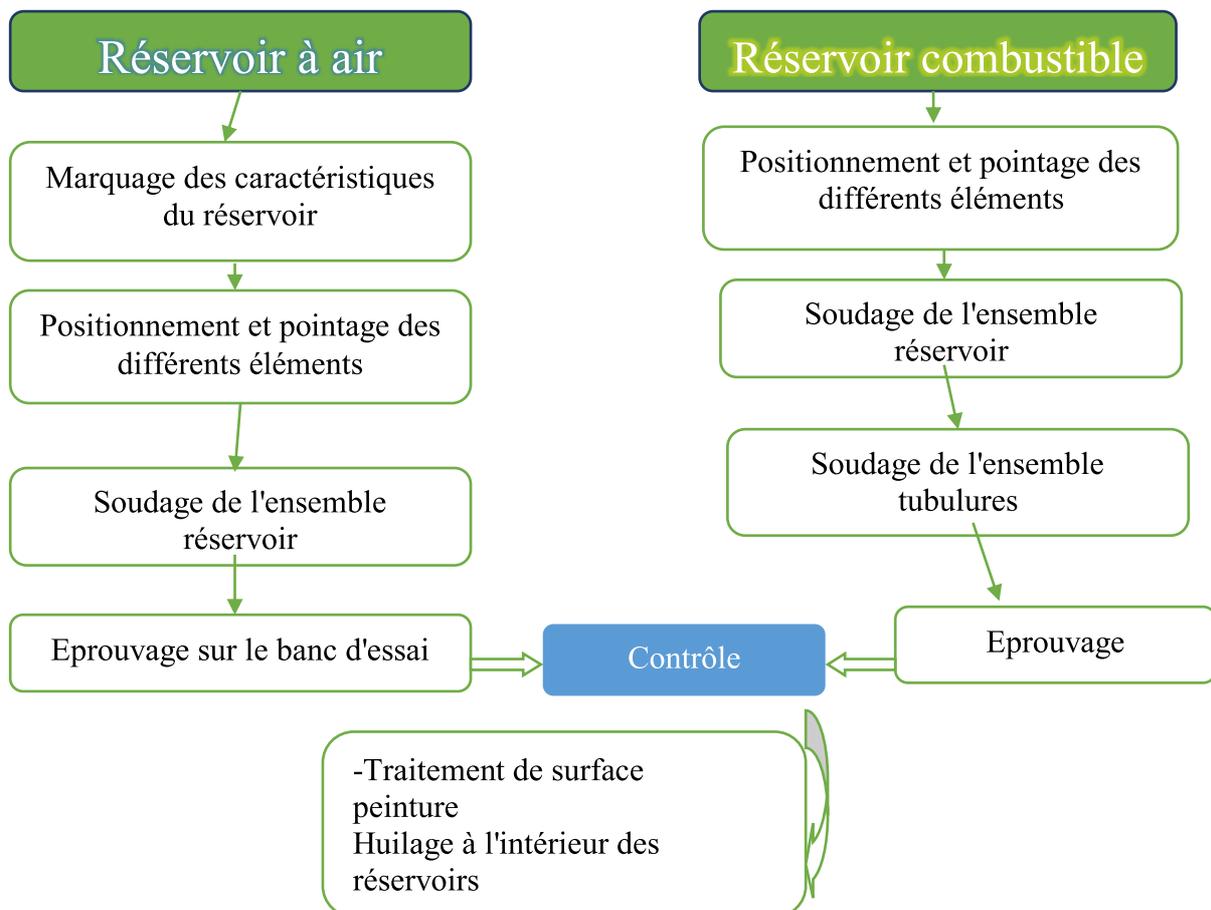
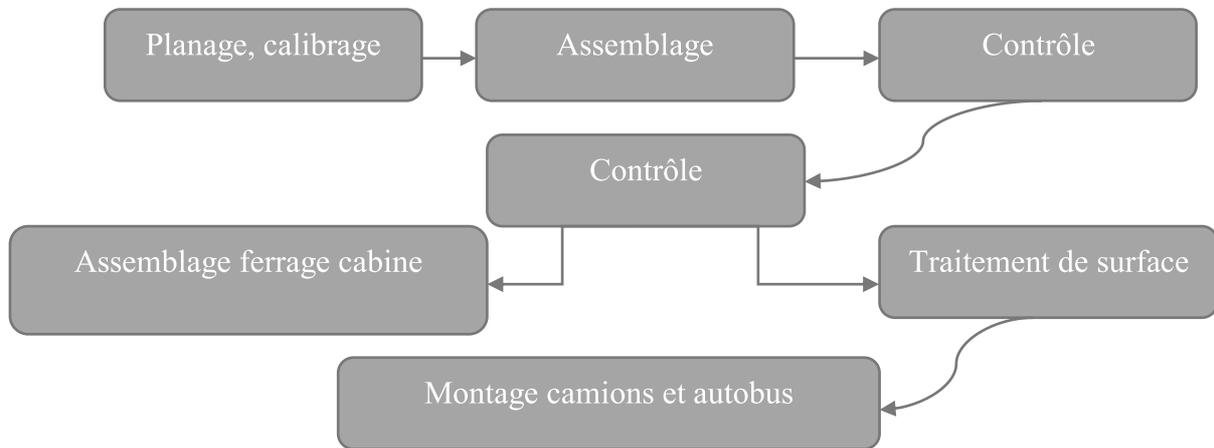


Figure N°11 : schéma synoptique de processus de fabrication secteur 148.

e. Secteur 181 : Le secteur ayant pour rôle :

○ la mise en forme, le calibrage et le planage des différentes pièces manuellement tels que les colliers, les pièces coniques et cylindriques.

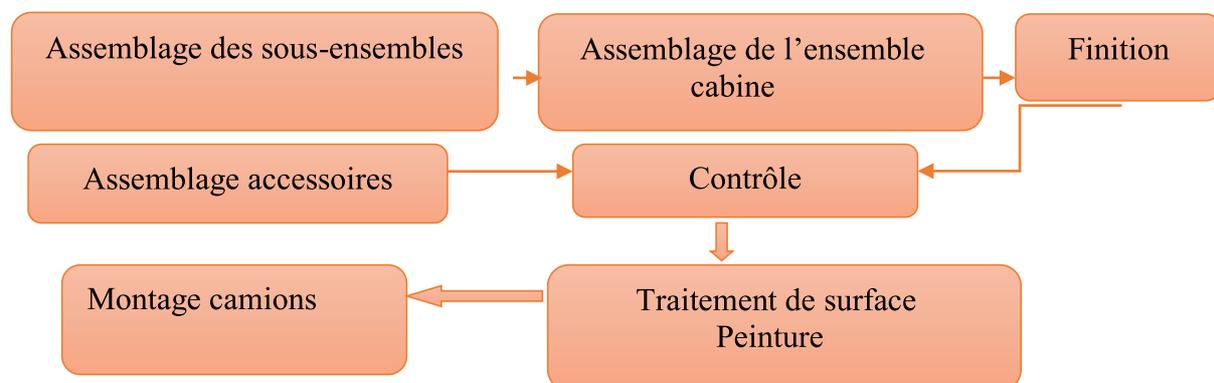
○ L'assemblage des petits et moyens ensembles et sous-ensembles divers.



FigureN°12 : schéma synoptique de processus de fabrication Secteur 181.

f. Secteur ferrage cabine : assemblage des cabines de la gamme des véhicules SNVI, ainsi que ses différents accessoires dans quatre sections réparties comme suit :

- *Section 149 :* assemblage des cabines pour les véhicules (K66, K120, M120),
- *Section 150 :* assemblage des cabines pour les véhicules (B et TB),
- *Section 151 :* assemblage des cabines pour les véhicules de l'armée (M230, et M120 Torpédo).



FigureN°13 : schéma synoptique de processus de fabrication Secteur ferrage cabine.

g. Secteur 155 (peinture petites pièces) :



FigureN°14 : Image de secteur 155.

La peinture des petites pièces dont le but est la protection des surfaces des pièces contre la corrosion avec deux procédés : le traitement de surface et la peinture.

- **Traitement de surface** : Cette opération s'effectue par émergence des pièces dans des bacs à capacité de 5000 L comme suit :

- **Dégraissage** : émergence des pièces dans un bac qui contient 280Kg de méesitylène (systoclean) à une température comprise entre 85 et 95 °C pendant 10 mn.

- **Rinçage** : s'effectue à l'eau froide.

- **Décapage** : s'effectue avec un mélange de 30Kg d'acide Addistripe (acrylonitrile) dans l'eau à froid.

- **Rinçage** : toujours avec l'eau

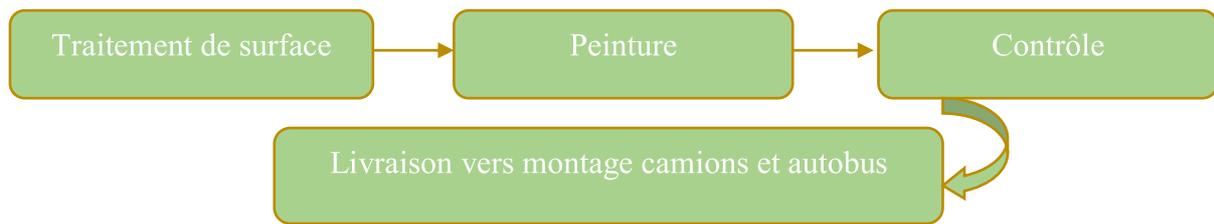
- **Neutralisation** : neutralisation dans un bac contenant 25Kg de naphthalène (neutrax n°1) et de l'eau et chauffage à une température variant entre 70 à 85 °C pendant 5 mn.

- **Phosphatation** : qui a lieu dans un bac contenant 330 l de la systophose 460S et de l'eau à une température variant entre 80 à 85°C pendant 5mn.

- **Rinçage, chromisations** : s'effectue par 5l de résorcine (Rinspas) à T= 70 à 80 °C pendant 2 mn.

Présentation de l'entreprise

- **Peinture** : s'effectue avec un pistolet par arrosage.



FigureN°15 : schéma synoptique de processus de fabrication Secteur 155.

h. Secteur 154 : dans lequel s'effectue la peinture des cabines pour la protection de la surface des cabines contre la corrosion avec deux procédés :

- **Traitement de surface** :

- **Dérouillage** : application directe du Mésityléne (Systoband) dilué dans 50% d'eau en utilisant un chiffon.

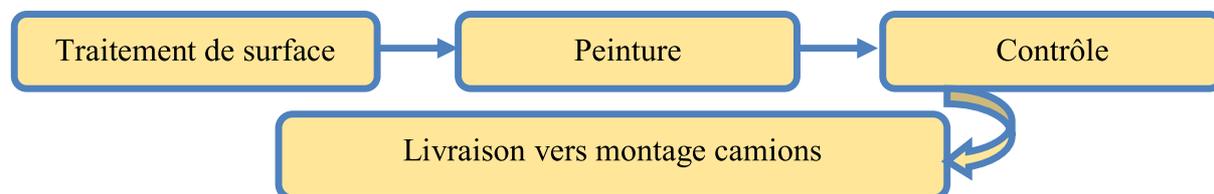
- **Dégraissage** : application directe par arrosage avec de Mésityléne (Systoline).

- **Lavage, phosphatation** : cette opération s'effectue dans un four à une température comprise entre 80 et 90°C à travers une application directe par arrosage de 7Kg de mésityléne (systoband) dilué dans 700 l d'eau.

- **Chromatation** : application directe par arrosage de 0.3 l de résorcine (Rinspas) 19 et de l'eau jusqu'à 300 l.

- **Peinture** : s'effectue par arrosage dans une cabine d'eau pour absorber les poussières de peinture.

- Magasin1 dans lequel a lieu le stockage des produits finis et même les matières premières de chaque secteur.



FigureN°16 : schéma synoptique de processus de fabrication

5. 3.4. Atelier d'outillage :

Cet atelier sert à la rénovation et à la réalisation des outils, il comprend un magasin d'outillage dans lequel sont stockés les outils de matriçage.



FigureN°17 : image d'Atelier d'outillage.

CHAPITRE I

Généralité sur les réservoirs et les techniques
de fabrication

I.1. Introduction :

Les réservoirs sont destinés à réserver et à stocker les fluides nécessaires pour le véhicule ou transporté. Autrefois fabriqué en tôle, il est aujourd'hui le plus souvent fabriqué en matière synthétique, pour des raisons de poids et de sécurité et de leurs fonctions (Figure I.1) [1].

I.2. Types des réservoirs :

I.2.1 Réservoir à fluides incompressibles : pour l'eau consommable ou transporté, les carburants (essence, gasoil).....etc.

I.2.2 Réservoir à fluide compressible : est destiné pour l'air comprimé de système de freinage ou d'embrayage, les bouteilles du gaz comprimé pour l'industrie....etc.



Figure I. 1 : M 120 lutte contre incendie.

I.3 Les éléments d'un réservoir combustibles :

I.3.1 Le corps de réservoir : c'est une tôle d'acier roulé et soudé par molette.

I.3.2 Les fonds de réservoir : c'est une tôle embouté et soudé avec le corps de réservoir.

I.3.3 Les chicanes (les séparateurs) : Elle est placée à l'intérieur de réservoir pour diminuer les forces dynamiques de fluide appliquées sur le fond.

I.3.4 Les embases : c'est les pièces secondaires comme la jauge et le bouchon de vidange etc.

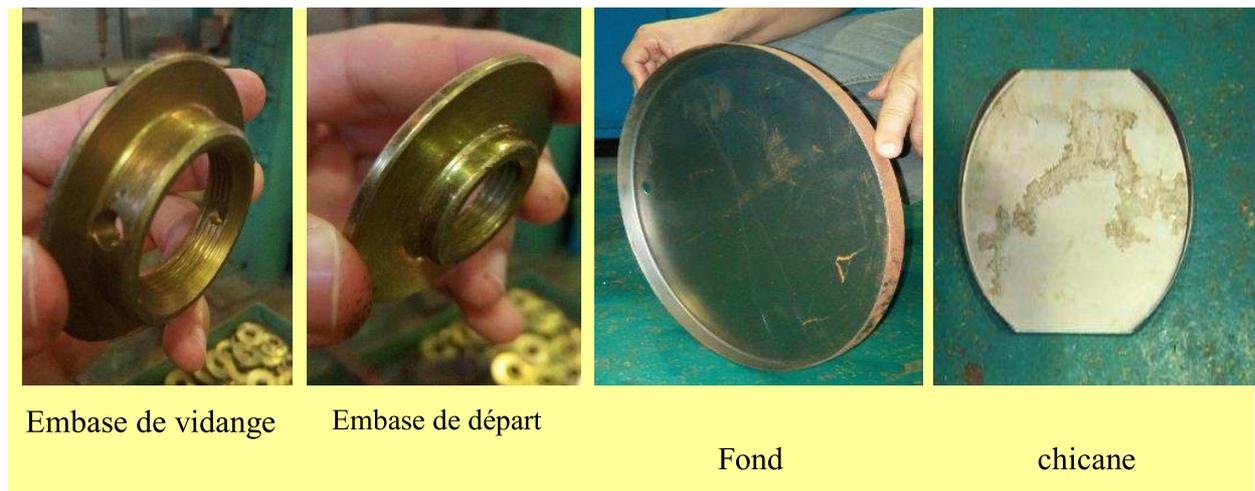


Figure I.2 : Les éléments d'un réservoir combustibles.

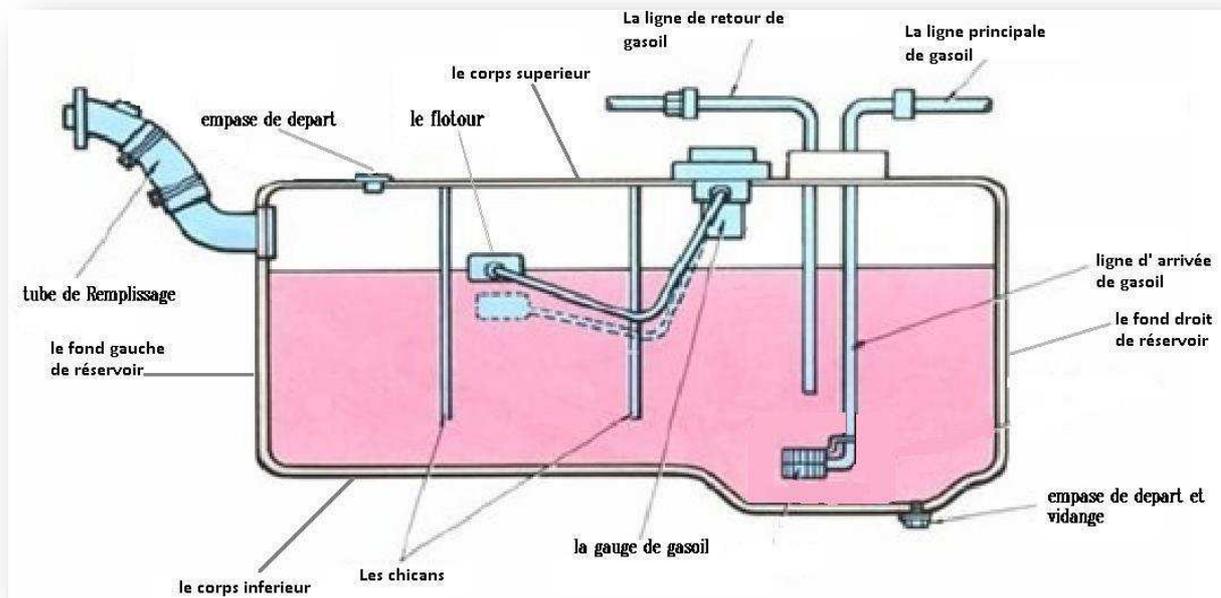


Figure I.3 : schéma des éléments d'un réservoir combustibles.

I.4 Processus de fabrication des réservoirs combustibles :

Les secteurs 146 et 147 ont pour vocation, la préparation des **pièces primaires** pour les différents secteurs d'assemblage, tout en transformant la tôle d'épaisseur de 1 à 8 mm par les différentes opérations de mise en forme (découpage, poinçonnage, emboutissage et pliage) suivant la gamme du bureau des méthodes et le plan édité par le bureau d'études .

I.4.1 Matière première : Au départ le center TE reçoit la matière première sous forme de tôles dimensionnées en acier « TC, XE, XES, ZE, ZES » (d'épaisseur 0.5 à 3mm) [2], en acier « 1C, 3C » (épais= 3.5 à 8mm) [3] ou en acier E.24.3 (d'épais=10mm) [4].

I.4.2 Coupe à longueur : Elle consiste à séparer un flan suivant un contour non fermé qui affecte toute la largeur de la bande.

Elle peut se faire, suivant la forme à obtenir, sans déchet (sauf en début et fin de bande), ou avec déchet pour des flans à côtés non communs (**figure I.4**).

Une opération unique de coupe à longueur autorise des outils simples, robustes, peu coûteux, facilement réaffûtables. Les pertes en métal sont très réduites. Il peut se produire cependant des gauchissements parasites, la tôle n'étant tenue que d'un seul côté [5].

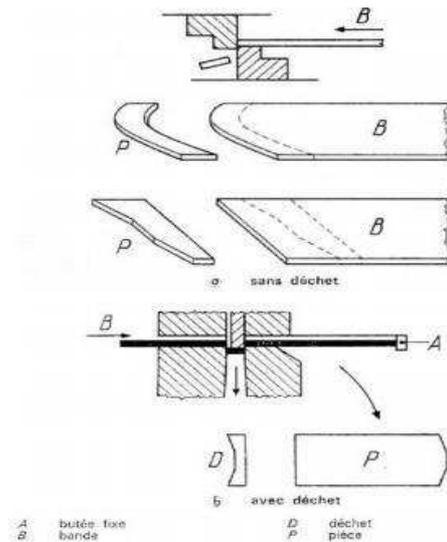


Figure I.4 : Coupe à longueur.

I.4.3 Découpage, Poinçonnage :

-**le découpage** C'est l'obtention d'un flan par séparation suivant une ligne fermée dans une bande ou une feuille. Après récupération de la pièce découpée, il subsiste un déchet (fig I.5a).

Le flan est rarement un produit fini, il subit d'autres opérations de formage (emboutissage, poinçonnage, etc.)

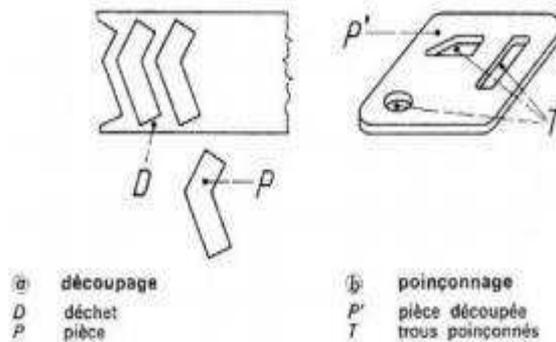


Figure I.5 : Découpage, Poinçonnage.

- **le poinçonnage** C'est une opération semblable au découpage, mais l'on conserve la partie extérieure, le déchet étant le déboucheur (fig I.5b) [6].

• **Détermination des efforts :**

La connaissance des efforts de coupe répond à deux exigences : Le choix de la presse et le choix de la répartition des outils sur une presse lorsque celle-ci on reçoit plusieurs, centrage de l'effort résultant sur des outils composés.

a. Calcul de l'effort de découpe :

Les efforts de découpage sont calculés par une formule empirique qui a l'avantage de fournir une bonne approximation tout en étant très simple : le métal est supposé opposer une résistance au cisaillement R_c par unité de surface dans la section découpée (périmètre du profil détaché \times épaisseur de la tôle).

$$F_C = LeR_c$$

Avec : e (mm) épaisseur de la tôle, F_c (daN) effort de découpe, L (mm) périmètre du profil détaché, R_c (hbar) résistance au cisaillement.

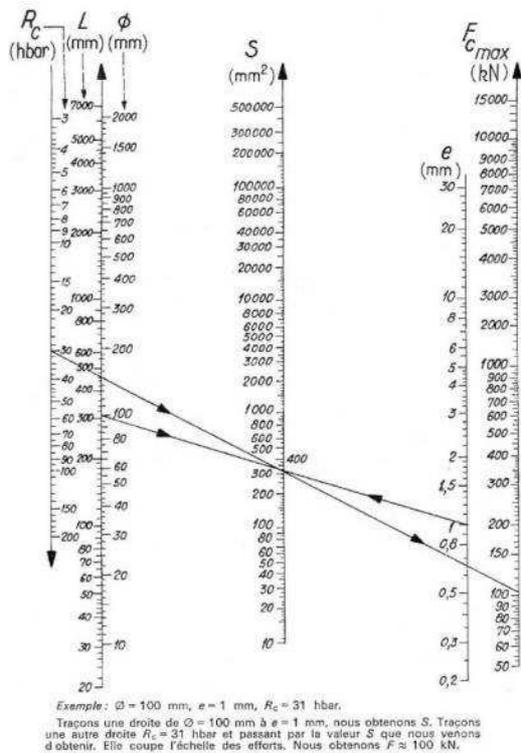


Figure I.6 : Détermination de l'effort de découpage-poinçonnage

b. Calcul de l'énergie :

Les énergies nécessaires pour découper ou poinçonner sont la plupart du temps bien inférieures à celles nécessaires pour emboutir : ainsi l'énergie n'entre pas en considération dans le choix d'une presse de découpe.

Il est possible de donner une valeur approchée à l'énergie en considérant que le poinçon travaille sur une fraction λ de l'épaisseur du métal, correspondant à la profondeur de pénétration.

$$W = F_c \lambda e$$

Pour un poinçon plat, on rencontre souvent la valeur $\lambda = 1$, mais il semble plus plausible d'accorder à λ une valeur proche de 0,6 :

$$W = \lambda L e^2 R_c$$

Avec : e (mm) épaisseur de la tôle, L (mm) périmètre du profil, R_c (daN/mm² ou hbar) résistance au cisaillement, W (daN · mm) énergie,

Ou :

Tableau N°01 : Résistance au cisaillement (R_c) pour les aciers ou les métaux non ferreux.

	Matériaux	R_c (hbar)	
Aciers	0,1 % C — recuit.....	24	
	— laminé à froid.....	31	
	0,2 % C — recuit.....	31	
	— laminé à froid.....	39	
	0,3 % C — recuit.....	37	
	— laminé à froid.....	47	
	Tôles laminées à froid :		
	— qualité TC	31	
	— qualité E.....	29	
	— qualité ES	27	
	Acier inoxydable.....	50 à 60	
	Acier au silicium	46	
Non ferreux	Aluminium — doux.....	9	
	— mi-dur	12	
	— dur.....	16	
	Duralumin — doux.....	24	
	— traité.....	28	
	— traité laminé.....	31	
	Laiton — doux.....	23	
	— mi-dur	27	
	— dur.....	32	
	Bronzes.....	15 à 49	
	Cuivre	20 à 30	
	Étain.....	3	
	— alliages d'étain.....	3 à 8	
	Zinc — laminé.....	14	
	— laminé dur	16	
— alliages de zinc.....	10 à 27		
Plomb	2 à 4		
Alliages de titane.....	42 à 50		

$$W = 10^{-2} \lambda L e^2 R_c$$

Avec : e (mm); L (mm); R_c (daN/mm² ou hbar); W (J).

➤ **Remarque :**

Lorsque les arêtes de coupe de l'outil sont très émoussées, l'effort de découpage, ainsi que l'énergie, peuvent augmenter sensiblement, parfois jusqu'à 20 % des valeurs initiales.

I.4.4 Encochages, Crevées, Soyages :

- **L'encochage** consiste à découper une zone partielle de métal sur le bord d'un flan ou d'une bande.

-Un découpage suivant une ligne non fermée sans enlèvement de matière est une **crevée**.

-**Le soyage** consiste à former un collet, soit par perçage de la tôle par un poinçon de forme pointue, soit sur un profil déjà formé [7].

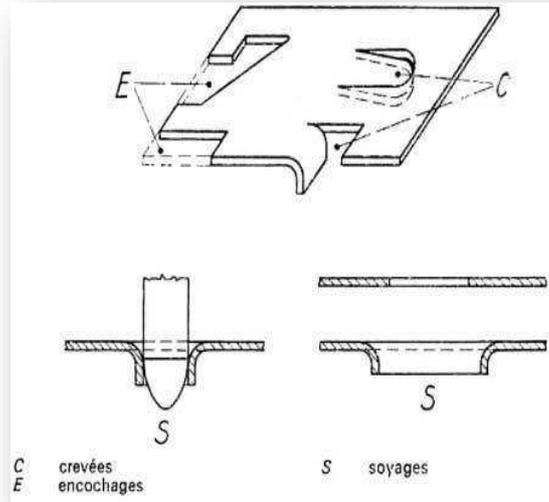


Figure I.7 : Encochages, Crevées, Soyages.

I.4.5 Le cintrage :

Le cintrage est un procédé mécanique de déformation d'une tôle, suivant un rayon et un angle avec une cintreuse (Figureur07). Le terme cintrage est aussi utilisé pour désigner globalement la transformation d'un produit cintré [8].



Figure I.8 : Cintreuse.

- **Réalisation du cintrage de corps (virole) d'un réservoir :**

L'opération de cintrage fait dans le secteur 148 (secteur d'assemblage des réservoirs) par les étapes suivant :

- Régler l'épaisseur de la tôle entre le rouleau supérieur et le rouleau presseur à l'aide du volant de réglage
- Mettre la tôle d'équerre par rapport aux rouleaux.
- Relever le rouleau cintreur amorcé le premier bord.
- Retourner la tôle et amorcer le deuxième bord.
- Rouler la virole.
- Tenir compte de l'élasticité de la tôle et faire croiser les bords de la virole de 20 à 30mm.
- Abaisser le rouleau presseur
- Retirer la virole.



Figure I.9 : les étapes de cintrage (roulage).

I.4.6 L'Emboutissage :

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique à chaud ou à froid des métaux [09].

Il transforme une feuille de métal appelée **flan** en une surface généralement non développable (fond de réservoir par exemple), ce mode de formage s'effectue sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration déterminé l'effet obtenu sur le flan :

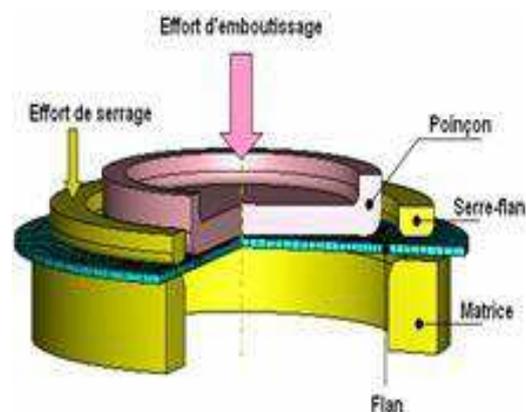


Figure I.10 : Procédé d'emboutissage.

- Outils a **simple effet** : configuration la plus simple, composée principalement d'une matrice et d'un poinçon.

➤ Outils **double effet** : comprend en plus de l'outil simple effet, un serre-flan.

D'autres éléments caractérisant le type de presse.

I.4.6.1 L'outillage et mode d'emboutissage :

L'outillage utilisé en emboutissage comprend donc :

- Un **poinçon** : couissant plus ou moins vite sur l'axe vertical, et déformant la tôle.

- Une **matrice** : elle serre d'appuie a la tôle et lui donne la forme extérieure finale au retour élastique près.

- Un **serre flan** : Son rôle est de maintenir plus ou moins le flan lors d'une opération d'emboutissage afin d'assurer un écoulement homogène du métal et prévenir les risques de plis ou autres défauts d'emboutissage.

- D'autres éléments caractérisant le type de presse.

L'emboutissage impose à la tôle différents **modes** de déformation dont le but est de conduire à l'obtention d'une surface creuse.

Le type d'outillage conditionne les deux cas limites de déformation : l'expansion et le retreint (*Fig N°10*).

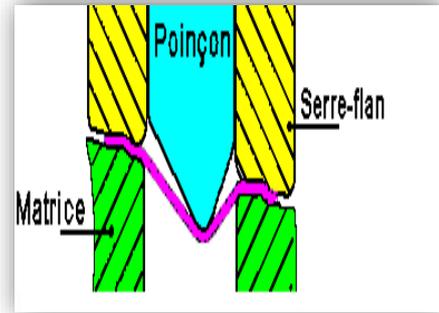


Figure I.11 : Principe de l'emboutissage.

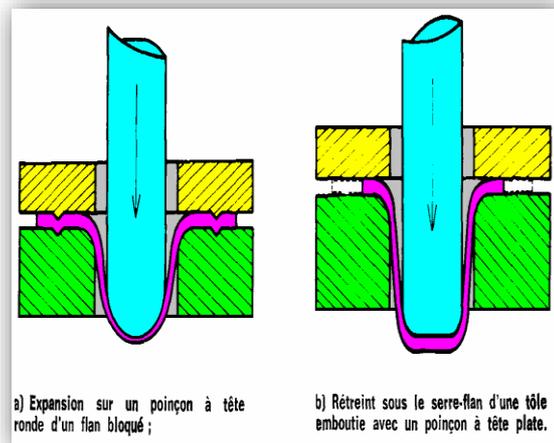


Figure I.12 : Modes de déformation par embouté.

-Le schéma (a) met en évidence un emboutissage par **expansion** sur le poinçon, le flan étant bloqué sous le serre flan : l'épaisseur sous le poinçon diminue. -Le schéma (b) montre un emboutissage **profond** avec **retreint** du métal glissant sous le serre-flan, l'épaisseur entre serre flan et matrice diminue.

L'art de l'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces deux modes de déformation et à optimiser ainsi l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre-flan.

I.4.6.2 Matériaux et formes d'emboutis : La technique d'emboutissage permet de mettre en forme de nombreux matériaux que ce soit des aciers, des alliages non ferreux ou des pattes. Néanmoins, la mise en œuvre d'une tôle nécessitera certains réglages ou certaines actions préalables dépendant de la nature même du matériau.

a. Les Matériaux :

➤ *Les aciers :*

Les techniques modernes de laminage permettent d'obtenir des tôles d'acier très minces, avec une surface propre et lisse, une structure homogène et une gamme de caractéristiques mécaniques adaptées aux exigences de l'emboutissage.

Ces tôles sont classées en trois catégories : tôle de fabrication courante (TC), tôle d'emboutissage (E), et tôle d'emboutissage spéciale (ES).

Les aciers inoxydables se comportent différemment de l'acier doux en raison de la présence de nickel et de chrome. Ainsi les vitesses d'emboutissage doivent être plus lentes que pour l'acier, le métal s'écrouissant plus rapidement.

➤ *Les alliages non ferreux :*

- **Les laitons :** Les plus couramment utilisés sont ceux désignés sous le nom de 60/40 (avec addition de plomb pour les utilisations en horlogerie et sans addition pour les pièces optique, de sidérurgie) et de 78/28 (pour l'emboutissage extra profond. Cette qualité (72% cuivre, 28% de zinc) est employée pour la fabrication de cartouches et de douilles évitant des opérations de recuit.
- **L'aluminium et ses alliages :** ces alliages s'écrouissant à l'emboutissage, l'étrirage le plus profond ne s'obtient qu'avec les qualités les plus douces. On peut toutefois obtenir des emboutis peu profond avec des qualités plus dures.
- **Le cuivre :** non allié à un autre élément, le cuivre rouge possède d'excellentes qualités d'emboutissage extra profonds ; souvent supérieures à celles du laiton ou de l'acier spécial.
- **Le zinc :** il s'emboutit facilement mais, dans le cas d'emboutissage de forme complexe, il est nécessaire de le chauffer entre 100 et 150°C.
- **Le nickel et ses alliages :** ils possèdent d'excellentes qualités d'emboutissage. Les plus utilisées sont ceux contenant 60 à 65% de cuivre, 20 % de zinc, et 15 à 20 % de nickel.
- **Le magnésium :** c'est le plus léger des métaux utilisés dans l'industrie. À température ambiante le magnésium ne peut être embouti que dans certaines limites.

Pour réaliser des pièces semblables à celles obtenues avec l'acier, il est indispensable de chauffer de 200 à 500°C en fonction de la qualité d'emboutis souhaitées.

- **Le titane :** ce métal se comporte comme le magnésium : les flans doivent être chauffés entre 200 et 350°C, selon s'il s'agit de titane pure ou d'un alliage. La matrice et le

poinçon sont également chauffés pour éviter le choc thermique auquel le métal est sensible.

b. Les Formes des pièces embouté :

D'une façon générale, les pièces embouties sont de forme simple telle que cylindrique, conique, sphérique ou prismatique. Cependant, ces formes simples sont déjà relativement difficiles à réaliser et ne sont généralement réalisables qu'avec un emboutissage par étapes, c'est à dire un emboutissage où la forme désirée n'est obtenue qu'après un certain nombre de phases successives.

- **Forme cylindrique :**

La forme cylindrique est facilement réalisable avec de bonnes conditions opératoires. À partir de cette forme simple il est possible de réaliser des formes plus évoluées avec la méthode d'emboutissage dit "renversé".

- **Forme conique :** La forme conique ne peut être obtenue qu'après au moins 4 passes. Cette technique permet d'obtenir des formes qu'il aurait été impossible à former en une seule passe.

- **Forme demi-sphérique :** L'emboutissage d'une demi-sphère est difficile en raison de la formation de plis, mais il est possible en une seule passe si la matrice est munie d'un bourrelet.

- **Forme rectangulaire :** Dans les emboutis rectangulaires on peut considérer que seuls les rayons latéraux sont emboutis (quart d'embouti cylindrique), les flancs étant simplement cambrés.

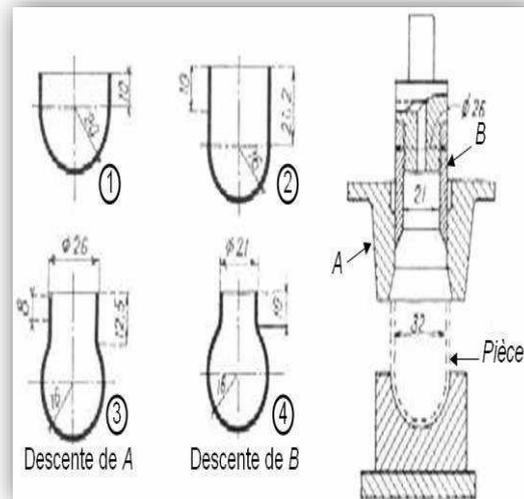


Figure I.13 : Emboutissage de pièce demi sphérique.

Ainsi les techniques d'emboutissage sont encore à développer, même si aujourd'hui l'emboutissage permet de former de nombreux éléments utilisés dans de nombreux domaines [10].

I.4.7 Contrôle de réservoir :

Après l'assemblage des différents éléments du réservoir en doit procédé un contrôle par les étapes suivant :

- fermeture tous les trous poinçonnés.
- appliqué une pression de l'air au niveau de tube de remplissage.
- enfin, mettre le réservoir dans une bassine d'eau pour détecter les fuites.



Figure I.14 : Contrôle d'un réservoir.

I.4.8 traitement des surfaces : dans ce procédé il doit éliminer les grâces et la roille au niveau des surfaces par la Dérouillage, Dégraissage, Lavage, phosphatation

I.4.9 protection de réservoir :

- protection de l'intérieur de réservoir par l'huilage.
- protection de l'extérieur de réservoir par deux couches de peinture, le 1^{er} c'est une couche de peinture entée roille et la 2^{ème} couche de peinture standard pour belle aspect.



Figure I.15 : peinture entée la roille.

I.5 Généralité sur les matériaux utilisés pour la conception et le ré conception de réservoir :

I.5.1 L'acier :

Selon la norme NF EN 10020, « on appelle acier un matériau dont le fer est l'élément prédominant, sa teneur en carbone est généralement inférieure à 2 % et il contient d'autres éléments ; un nombre limité d'aciers au chrome peut avoir une teneur en carbone supérieure à 2 %, mais cette valeur de 2 % est la teneur limite courante qui sépare l'acier de la fonte ».

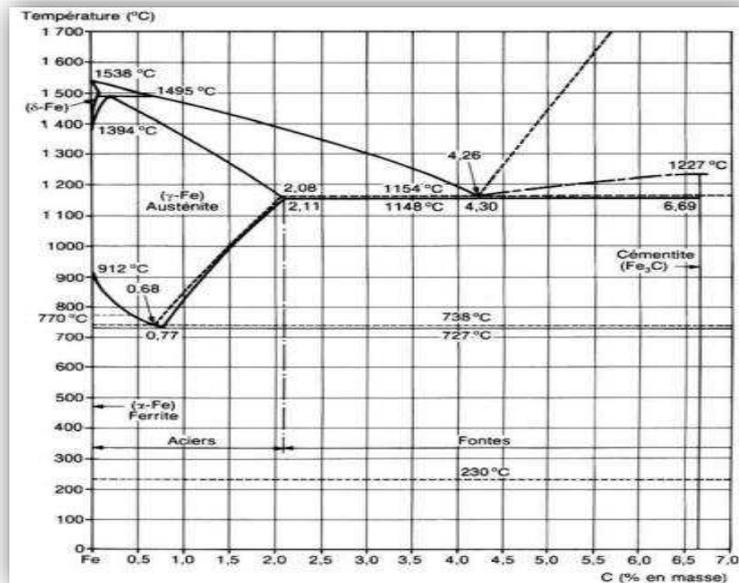


Figure I.16 : diagramme fer/carbone.

• **Caractéristiques d'acier utilisé dans la fabrication de réservoir :**

La forme de matière 1^{er} utilisé pour fabriquer les réservoirs combustibles aux centre TE est des tôles minces d'acier doux d'un ép ≤ 3 mm, selon la norme NF 36.401 il ya 5 type des tôle :

- Tôle d'acier doux de qualité commercial ''TC''
- Tôle d'acier doux pour emboutissage ''TE, TES, ZE,ZES''.

Tableau(02) : Caractéristiques d'acier utilisé.

Type	Re (Mpa)	Rm(Mpa)	Hrb maxi
TC	280	270-410	65
TE	240	270-370	57
TES	225	270-340	50
ZE ;ZES(SES)	180	270-330	50

I.5.2 L'Aluminium :

L'aluminium est utilisé généralement pour des applications nécessitant légèreté et bonnes propriétés mécaniques. On le trouve aussi dans les bobinages des moteurs ou les circuits électriques car il est bon conducteur électrique.

La bauxite est un minerai qui contient aux alentours de 50 % d'alumine mais aussi un certain pourcentage d'oxyde de fer lui donnant sa couleur rougeâtre. Elle est broyée puis mélangée à de la soude à haute température et sous pression. L'aluminate de sodium ainsi obtenu est débarrassé de ses impuretés, puis dilué et refroidi, provoquant la précipitation d'oxyde d'aluminium hydraté. La calcination de cet oxyde devient l'alumine (Al_2O_3). Il faut ensuite séparer l'aluminium de l'oxygène pour obtenir des lingots l'aluminium par électrolyse.

Une forte énergie électrique est alors requise pour séparer aluminium et oxygène dans le bain électrolytique. L'aluminium se dépose sur la cathode (-) et l'oxygène sur l'anode (+). L'anode est en graphite généralement.

Il faut environ 2 000 kg d'alumine, 400 kg de coke, et 15 000 kWh de consommation d'électricité pour obtenir une tonne d'aluminium.

I.5.2.1 Principaux Propriétés :

- bon conducteur de la chaleur et de l'électricité
- faible masse volumique : 2,7 kg/dm³
- point de fusion : 658° C
- faible module d'Young : 70000 N/mm² 70000 Mpa 7000DaN/mm² (pour l'aluminium pur).
- le coefficient de rigidité par unité de masse est sensiblement égal à celui de l'acier
- faible limite élastique (pour l'aluminium à l'état pur 99.99%).
- fort allongement à la rupture (tôles minces, feuilles, papier).
- La **résistance à la corrosion** est bonne à condition que la couche d'alumine soit formée car ensuite elle empêche la corrosion de pénétrer dans l'aluminium.

Par contre l'association avec un métal plus électropositif (acier, alliages de cuivre) détruit la couche d'alumine qui ne peut donc plus protéger l'aluminium.

I.5.2.2 Désignation des Principaux alliages industriels :

Cette désignation conforme à la norme AFNOR NF A 02-104 est numérique et à 4 chiffres.

■ Signification du premier chiffre : il indique le groupe auquel appartient l'aluminium ou l'alliage :

— le chiffre 1 concerne l'aluminium dont le titre est supérieur à 99 % ;

— les chiffres 2 à 8 concernent les alliages et identifient la nature de l'élément principal d'addition ainsi que le groupe auquel appartient l'alliage :

- **Aluminiums non alliés de la série 1000 :**

Les propriétés de ces nuances dépendent essentiellement :

- des teneurs en impuretés (fer et silicium en particulier) ;
- des additions mineures éventuelles ;
- des niveaux de durcissement réalisés par écrouissage ou des niveaux d'adoucissement obtenus par restauration et recuit. D'une façon générale les aluminiums non alliés présentent :
- une très bonne aptitude à la déformation plastique ;
- une résistance mécanique relativement faible ;
- un excellent comportement vis-à-vis des agents chimiques et des différentes atmosphères ;
- une bonne aptitude au soudage, au brasage, à l'anodisation.

- **Alliages aluminium-cuivre de la série 2000 :**

Les alliages de la série 2000, à durcissement structural, forment une gamme importante d'alliages se caractérisant par :

- une résistance mécanique moyenne à l'état trempé mûri mais relativement élevée à l'état trempé revenu ;
- une bonne tenue à chaud ;
- une aptitude au soudage généralement mauvaise selon les procédés traditionnels ;
- une résistance à la corrosion relativement faible en atmosphère corrosive.

- **Alliages aluminium-manganèse de la série 3000 :**

Les alliages de la série 3000, dont les applications industrielles sont importantes et variées, se caractérisent par :

- une résistance mécanique faible mais qui peut être augmentée soit par écrouissage, soit par addition de magnésium (ces alliages n'étant pas susceptibles de durcissement structural sont donc utilisés dans les états écrouis, restaurés ou recuits) ;
- une bonne aptitude à la mise en forme, au soudage et au brasage ;
- une excellente résistance à la corrosion.

- **Alliages aluminium-silicium de la série 4000 :**

Les alliages de la série 4000 n'ont pas le poids industriel des alliages des séries 1000, 2000, 3000, 5000, 6000 et 7000. Il apparaît cependant nécessaire de mentionner ceux qui reçoivent des applications industrielles significatives.

- **Alliages aluminium-magnésium de la série 5000 :**

Les alliages aluminium-magnésium constituent une famille importante et variée d'alliages industriels.

Les alliages Al-Mg forment, en fonction de leur teneur en magnésium qui varie de 0,5 à 5,5 %, une gamme très progressive d'alliages dont les propriétés générales sont les suivantes :

— caractéristiques mécaniques moyennes : donne la résistance à la traction type des principaux d'entre eux à l'état recuit ; mais cette résistance peut être plus ou moins fortement augmentée, aux dépens de la plasticité, en utilisant les états H écrouis ou écrouis restaurés ;

— bonne aptitude à la déformation à chaud et à froid, cette aptitude étant toutefois d'autant meilleure que la teneur en magnésium est plus faible ;

— *excellente soudabilité opératoire et métallurgique*, la résistance mécanique des joints soudés étant pratiquement égale à celle du métal de base à l'état recuit ; cette propriété, jointe à la précédente, explique les nombreuses applications des alliages Al-Mg dans le chaudronnage-soudage ;

— excellent comportement aux basses et très basses températures, d'où les applications en cryogénie ;

— très bonne *résistance à la corrosion* en atmosphères naturelle, industrielle et marine, sur état soudé ou non.

- **Alliages aluminium-magnésium-silicium de la série 6000 :**

Les alliages aluminium-magnésium-silicium de la série 6000, à durcissement structural, ont un poids industriel important, en particulier dans le domaine des produits obtenus par filage : 80 % des alliages d'aluminium utilisés dans le monde pour la fabrication des profilés filés appartiennent à cette série.

- **Alliages aluminium-zinc de la série 7000 :**

Les alliages aluminium-zinc comprennent différentes sous-familles mais la principale est constituée par les alliages à haute résistance du type Al-Zn-Mg-Cu.

- **Alliages d'aluminium de la série 8000 :**

Ces alliages, qui correspondent à ceux qui du point de vue composition n'entrent dans aucune des séries précédentes, comprennent différentes sous-familles à propriétés bien spécifiques [11].

I.5.2.3 Choix d’alliage d’aluminium pour ré conception de réservoir :

Nous avons une vaste zone qui nous laisse libre de choisir l'alliage approprié pour le ré conception le réservoir de carburant, mais nous devons envisager la possibilité de souder et de façonner de différentes manières. Après des recherches, nous avons constaté que les meilleurs alliages et les plus appropriés sont de la série 5000.

Tableau(03) : Principales familles d’alliages d’aluminium corroyés.

Alliages	Série	État	Domaine de résistance en MPa (1)								Principaux alliages	
			100	200	300	400	500	600	700	800		
Sans durcissement structural	1000	O	■	■								1100 - 1200 - 1050A - 1070A 1080A - 1199 1370 - 1350 - 1310 - 1340
		H	■	■								
	3000	O	■	■								2017A - 2014 - 2214 2024 - 2124 - 2001 2818 - 2219 2011 - 2030 - 2117 - 2002
		H	■	■								
	5000	O	■	■	■							3003 - 3103 3004 - 3005 - 3105
		H	■	■	■							
Avec durcissement structural	2000	T3 - T4			■	■	■					5005 - 5050 - 5251 - 5052 5154 - 5454 - 5754 5083 - 5086 - 5056 - 5182 5013 - 5283 5150 - 5351 - 5252 - 5457
		T6 - T8			■	■	■					
	6000	T5 - T6		■	■	■						6101 - 6201 - 6005A - 6106 6351 - 6060 - 6061 - 6262 - 6063 - 6463 - 6081 - 6181 - 6082
		T6	Sans cuivre			■	■	■				
	7000	T6 - T7	Avec cuivre				■	■	■	■		7075 - 7175 - 7475 - 7049A 7010 - 7050 7020
		T6 - T7	Avec cuivre				■	■	■	■		

(1) $R_{p0.2}$ (zone grise)
 R_m (zone noire)

I.6 Conclusion

En apprend dans ce chapitre des informations sur les réservoirs en générales, mais dans ce chapitre en précision un cas parmi ces réservoirs : les réservoirs combustibles et ces processus de fabrication, ensuite, en donne des informations générale sur l’acier et l’aluminium.

Enfin, l’utilisation d’aluminium pour la fabrication des réservoirs combustible, il donne la possibilité de minimisé la durée de fabrication et les efforts et l’énergie nécessaire de mise en forme et de découpage et de poinçonnage.

CHAPITRE II

Généralité sur les techniques de soudage

II.1. Définition d'assemblage par soudage :

L'assemblage par soudage occupe une place importante dans l'univers de la construction mécanique et tant d'autres choses qui ne sauraient être construites sans le recours au soudage.

C'est une opération qui consiste à réunir deux ou plusieurs parties Constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à Assembler, soit par chauffage, soit par pression, soit par l'un et l'autre, , avec ou sans emploi d'un produit d'apport dont la température de fusion est voisine de celle du matériau constituant les éléments à réunir [12].

II.2. Les Principaux procédés de soudage utilisé :

II.2.1 Soudage à l'arc électrique :

C'est un procédé de soudure par fusion où la chaleur est produite par un arc électrique ; Un arc est une décharge électrique établie et entretenue dans un gaz entre deux électrodes reliées aux pôles d'un générateur et dégageant lumière et chaleur, il forme une colonne ionisée.

II.2.1.1 Soudage à l'électrode enrobée :

Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée, appelé (SAEE) ou (manual arc welding, shielded metal arc welding process), s'exécute d'une façon très simple, schématisée sur la figure(II.1).

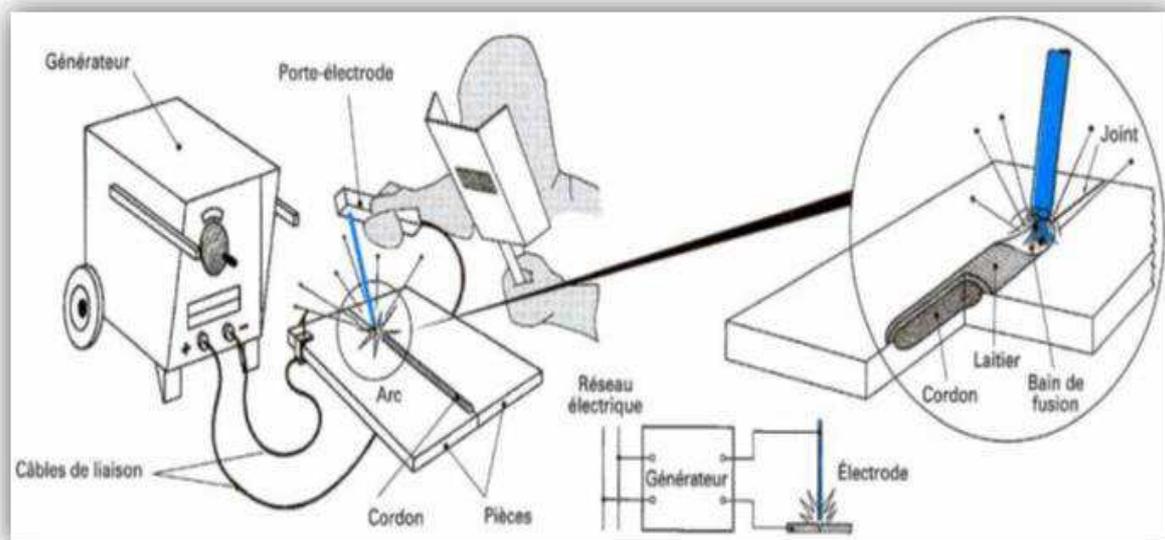


Figure II.1 : Soudage à l'électrode enrobée.

- **Caractéristiques de l'électrode :**

Une électrode enrobée se présente sous la forme d'une baguette comportant une âme métallique conductrice et un enrobage composite généralement non conducteur, nous donnons ci-après quelques données générales concernant l'âme métallique et son enrobage.

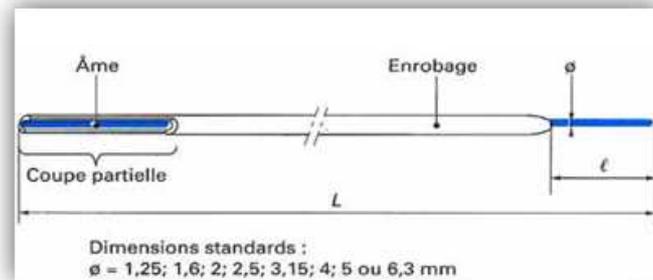


Figure II.2 : Caractéristiques de l'électrode.

- **Âme métallique :**

L'âme métallique conduit le courant, apporte le métal, forme le cordon et comporte des éléments d'alliages devant assurer une grande part des caractéristiques désirées de la soudure.

Le métal de l'âme est en général très proche du métal de base à souder.

- **Enrobage :**

L'enrobage est constitué par un mélange de corps très divers agglomérés autour de l'âme par un liant. Compte tenu des effets nombreux et variés que ces différents corps peuvent produire grâce à leurs comportements physico-chimiques pendant le soudage et dans les soudures elles-mêmes, les éléments les plus employés sont des minerais, silicates, carbonates, matières organiques, graphite, etc.

- **le rôle d'enrobage :**

Est la protection pendant le soudage, émettre des vapeurs chassant l'air de la zone d'arc et posséder des qualités neutres, légèrement réductrices ou au pouvoir oxydant contrôlé et le laitier que forme l'enrobage a en outre un certain nombre d'autres effets purement mécaniques sur le bombé du cordon, la dilution et la pénétration par effet de creuset la possibilité de travailler en position par la viscosité et l'adhérence.

- **Domaines d'applications :**

Le soudage à l'électrode enrobée est un procédé exclusivement manuel qui se rencontre en pratique dans tous les domaines industriels dont il satisfait les besoins à quelques réserves près. Il revêt en effet une simplicité et une flexibilité inégalées grâce à :

— un équipement on ne peut plus simple ;

— une électrode enrobée qui, sous une forme pratique et d'acquisition facile, Ces avantages sont à opposer aux inconvénients : d'un fonctionnement cadencé ; d'une capacité et d'une productivité limitée. C'est ainsi qu'il s'impose : dans les travaux de soudage surtout lorsqu'ils sont très diversifiés : chaudronnerie générale, serrurerie, mécano-soudure et sur les chantiers.

II.2.1.2 Soudage sous flux en poudre :

Le soudage à l'arc sous flux en poudre (SAFP) ou (submerged arc welding process ou SAW) constitue l'automatisation du soudage à l'électrode enrobée. Il associe en effet un fil électrode fusible, dévidé d'une bobine, avec une protection obtenue par des vapeurs provenant d'une poudre composite comparable à l'enrobage et apportée directement dans la zone d'arc, mais indépendamment de l'électrode. Cette disposition permet de réaliser des soudures ininterrompues multi horaires (**Figure II.3**).

- **Caractéristiques du couple fil/flux :**

Le matériau du fil de soudage correspond au métal de base de la pièce et est défini en fonction des caractéristiques du métal déposé. Le flux en poudre crée le milieu ionisé (ou conducteur) et protège la soudure en cours de refroidissement par la formation d'un laitier vitrifié, ainsi que celui très important sur la compacité de la granulométrie ; de là, les effets du flux sur l'aspect du cordon, sa forme, son profil et ses raccordements avec métal déposé du fait du dégazage en cours de soudage.

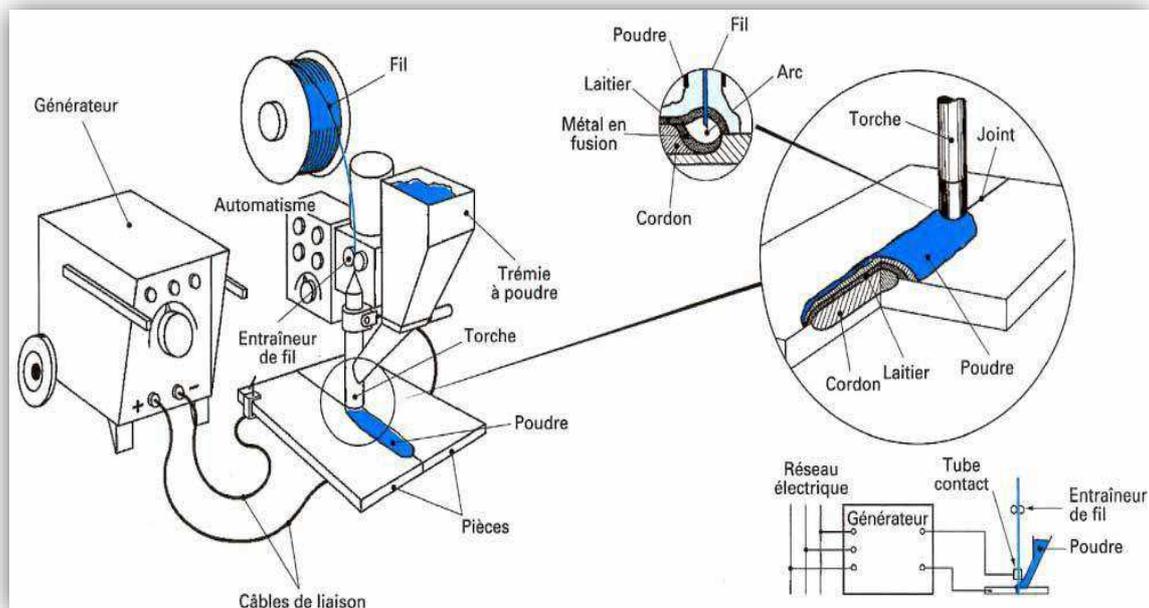


Figure II.3 : Principe de Soudage sous flux en poudre.

- **Domaines d'applications :** Le soudage sous flux se place, par rapport au soudage à électrode enrobée, avec pratiquement les mêmes avantages quant à son adaptative métallurgique, mais il résout le problème de la productivité par son fonctionnement continu grâce au fil-électrode et son taux de dépôt supérieur.

Cela le cantonne dans le domaine de la chaudronnerie moyenne et lourde et, de façon générale, dans les applications aux les épaisseurs sont élevées (> 30 à 50 mm) et au les soudures sont longues (plusieurs mètres) et uniformes (absence d'angle).

II.2.1.3 Soudage semi-automatique MIG et MAG :

Le figure(II.4) représente une installation de soudage semi-automatique, procédé que l'on désigne également par les expressions MIG et MAG selon que le gaz est respectivement inerte ou actif (Metal Inert Gas et Metal Active Gas), Bien que parfois actif, le gaz de protection joue un rôle métallurgique beaucoup plus restreint que le flux mais simplifie la mise en œuvre du procédé.

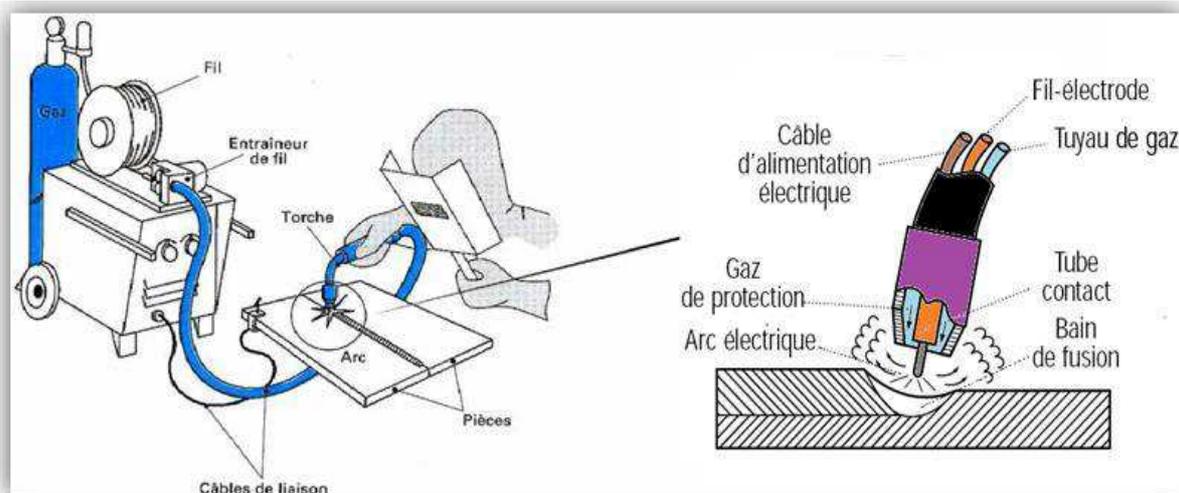


Figure II.4 : principe Soudage semi-automatique Mag/Mig.

- **Caractéristiques du couple fil/protection gazeuse :**

Le fil amené grandes longueurs, enroulées sur une bobine isolante, dont le matériau correspond au métal à souder (acier doux ou allié, acier inoxydable, alliage d'aluminium ou de cuivre, etc.), la protection gazeuse est, selon le cas, inerte ou active et oxydante les protections (réductrices sont peu utilisées). C'est ce qui établit la distinction d'appellation MIG (inerte) ou MAG (actif) dans l'utilisation du procédé. Les protections gazeuses communément employées sont données dans le tableau.... La protection gazeuse joue différents rôles : les qualités de fils se sont généralisées et conviennent parfaitement au soudage sous argon additionné d'oxygène, voire de CO₂, avec des effets sur le mode de transfert du métal, en particulier, et sur les caractéristiques de soudures.

• **Domaines d'applications :**

Le soudage MIG/MAG est né de l'intérêt d'appliquer au soudage à l'électrode continue, à la place de la poudre minérale, une protection gazeuse. En fonctionnement manuel, il offre, par rapport au soudage à l'électrode enrobée, l'option dite semi-automatique dans laquelle l'opérateur n'a de rôle que dans le guidage de la torche et n'en a plus aucun dans la fusion de l'électrode. L'emploi de CO₂ en *"short arc"* constitue une avancée pratique très importante qui a permis au procédé de s'imposer dans le domaine des épaisseurs minces **d'aciers au carbone** peu ou faiblement alliés constituant la base de la **chaudronnerie légère**, de la petite et moyenne **mécano-soudure** et de la **serrurerie industrielle**. Il s'est développé dans la **construction automobile** sous forme semi-automatique mais surtout automatique à laquelle il est parfaitement adapté.

L'absence de laitier rend le travail plus propre et sans reprise de finition, car la fusion spray arc permet d'obtenir des surfaces de dépôt très lisses.

Le soudage MIG est la solution semi-automatique et automatique des assemblages en **alliages d'aluminium** et en aciers inoxydables dans la chaudronnerie des réservoirs transportés, des silos propres et des conteneurs des industries agro-alimentaires. Malgré les tentatives faites dans la composition des fils et des gaz, très vite limitée en comparaison avec les flux ou les enrobages.

Tableau II.1 : Protections gazeuses utilisées en soudages MIG et MAG.

<i>Procédé</i>	<i>GAZ</i>	<i>APPLICATIONS</i>
MIG	Ar	Tous métaux en principe
	He	Alliages d'aluminium
	Ar + He	Alliages d'aluminium et de nickel
MAG	Ar + 1 à 2 % O ₂	Aciers au carbone avec fils désoxydants
	Ar + 3 à 5 % O ₂	
	Ar + 20 à 30 % CO ₂	
	Ar + 5 % O ₂ + 15 % CO ₂	
	CO ₂	
	CO ₂ + 5 % O ₂	

II.2.1.4 Soudage à l'électrode réfractaire (TIG) :

Le soudage à l'électrode réfractaire est communément appelé soudage TIG (Tungsten Inert Gas), Le principe de ce procédé est représenté sur la figure(II.5) sous sa forme manuelle, le procédé TIG peut s'automatiser facilement,

L'opération s'exécute avec ou sans apport de métal, avec apport de métal (fil métallique), En polarité directe, l'électrode est meulée en pointe côté soudage figure(II.6), elle se forme en boule pour le soudage des alliages d'aluminium en courant alternatif ou en polarité inverse.

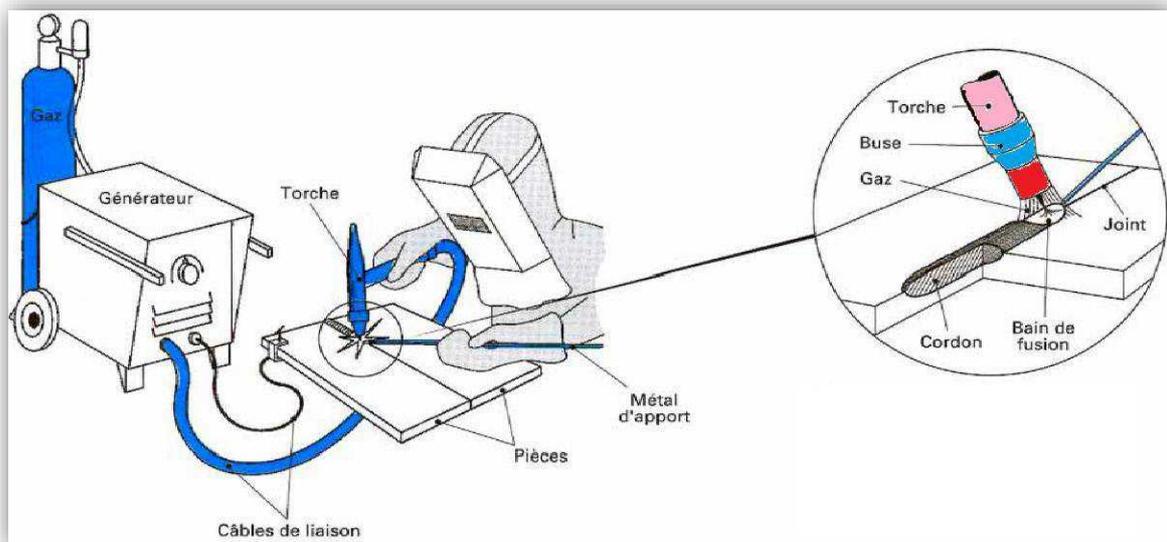


Figure II.5 : Principe Soudage à l'électrode réfractaire.

- **Caractéristiques du couple électrode/protection gazeuse :**

L'**électrode** est une tige de **tungstène** non fusible, le tungstène pur ou additionné de thorium (1 à 2 %) et/ou de zirconium (0,5 %), est l'unique matériau susceptible de constituer l'électrode réfractaire du procédé TIG. Compte tenu des densités de courant admissibles, les électrodes de tungstène ont des plusieurs forme (figure...). **La Protection gazeuse** les seuls gaz inertes utilisables du fait de leurs caractéristiques dans le procédé TIG sont l'**argon** et l'**hélium** (tableau 5). On peut également employer un mélange des deux et obtenir un compromis entre leurs effets respectifs, ou les additionner d'un réducteur, Par rapport à l'hélium, l'argon aux avantages Suivants : arc plus calme, meilleure action décapante du soudage alternatif des alliages d'aluminium, nécessité d'un débit moindre pour une protection identique et amorçage plus facile.

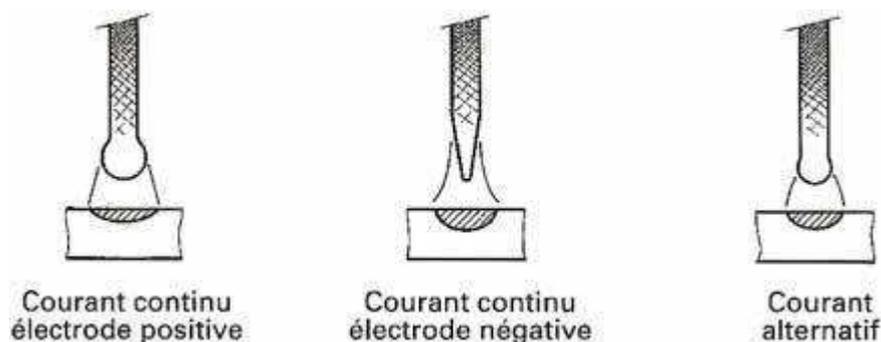


Figure II.6 : Formes des électrodes pour soudage TIG.

Tableau II.2 : Emploi des gaz en soudage TIG.

Gaz	Qualité du gaz	Applications en soudage
Argon	Inerte	Toutes applications
Hélium	Inerte	Aluminium et cuivre
Argon-hélium	Inerte	Aluminium et cuivre, avec arc plus stable que cas précédent
Argon-azote	Réducteur	Cuivre essentiellement
Argon-hydrogène	Réducteur	Acier inoxydable

- **Métal d'apport :**

Les soudures en chanfrein nécessitent un apport de métal. Celui-ci est introduit directement à l'avant du bain, soit à partir de baguettes nues, en soudage manuel, soit par un dispositif mécanisé semblable à celui du soudage MIG.

- **Domaines d'applications :**

Ses applications sont réservées aux métaux et assemblages nobles : aciers inoxydables et réfractaires, alliages de **nickel**, **alliages d'aluminium** et de **magnésium**, de titane, de cuivre, etc. D'exécution lente à des vitesses ne dépassant pas quelques dizaines de centimètres par minute, il autorise, par un excellent dosage thermique, les travaux de haute qualité et, par un contrôle facile des paramètres, les travaux de grande précision [13].

II.2.2 Soudage par résistance :

L'invention du soudage par résistance est due à l'Américain Thomson en 1877, Ce procédé met en œuvre l'effet Joule d'un courant de forte intensité traversant les pièces à assembler, mises au contact l'une de l'autre et sur lesquelles il est naturellement ou convenablement concentré. La chaleur produite Q s'exprime par la formule :

$$Q = \int_0^T RI^2 dt$$

Avec : R résistance électrique rencontrée par le courant, I intensité du courant, T durée du phénomène, t variable temps.

Si la puissance électrique fournie est suffisante pour compenser les pertes thermiques diverses, la chaleur produite conduit à la **fusion des matériaux métalliques** usuels.

Le soudage par résistance consiste à faire en sorte que cette fusion se développe dans le plan de joint des deux pièces mises en contact.

Les différentes formes du soudage par résistance incluent (à quelques variantes près) une phase de **forgeage** dont l'importance métallurgique est fondamentale.

❖ **Différents procédés :**

Les procédés de soudage par résistance sont les suivants (figure...) :

- le soudage **par points** donnant lieu à une soudure par recouvrement discontinue.
- le soudage **à la molette** donnant lieu à une soudure par recouvrement continue et étanche
- le soudage **par bossages** ou par protubérances.

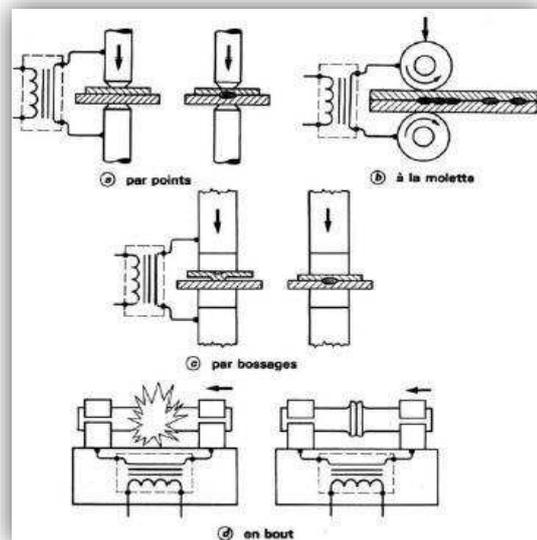


Figure II.7 : Procédés de soudage par résistance.

- le soudage **en bout** (§ 5), qui relève également du soudage par forgeage à chaud, dans lequel la chaleur est obtenue par effet Joule (par différence avec d'autres moyens de chauffage, tels l'induction, la friction, l'arc tournant, etc.

II.2.2.1 Soudage par points : Le soudage par points est un procédé d'assemblage discontinu, par recouvrement. Il s'applique à des assemblages en tôles d'aciers doux, allié, inoxydable, d'aluminium, etc. d'épaisseurs entre 0,5 et 10 mm.

Un cycle de soudage comporte donc les phases suivantes :

- **L'accostage :** les électrodes se rapprochent et viennent se serrer sur les pièces à souder à l'endroit prévu et sous un effort donné ;

— **le soudage** : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur du circuit de puissance ;

— **le forgeage** ou maintien d'effort à la fin duquel les électrodes.

— **Au coup par coup**, la machine ne réalise qu'un cycle et il faut appuyer de nouveau sur la pédale pour en réaliser un autre.

— **À la volée**, la machine fonctionne d'une manière répétitive, chaque cycle étant séparé du précédent par un intervalle de temps ou *temps mort* qui permet à l'opérateur de déplacer la pièce à souder. Sa durée détermine ainsi la *cadence* de travail.

Une soudure par point se caractérise par ses dimensions qui doivent être en rapport avec les épaisseurs des tôles à souder.

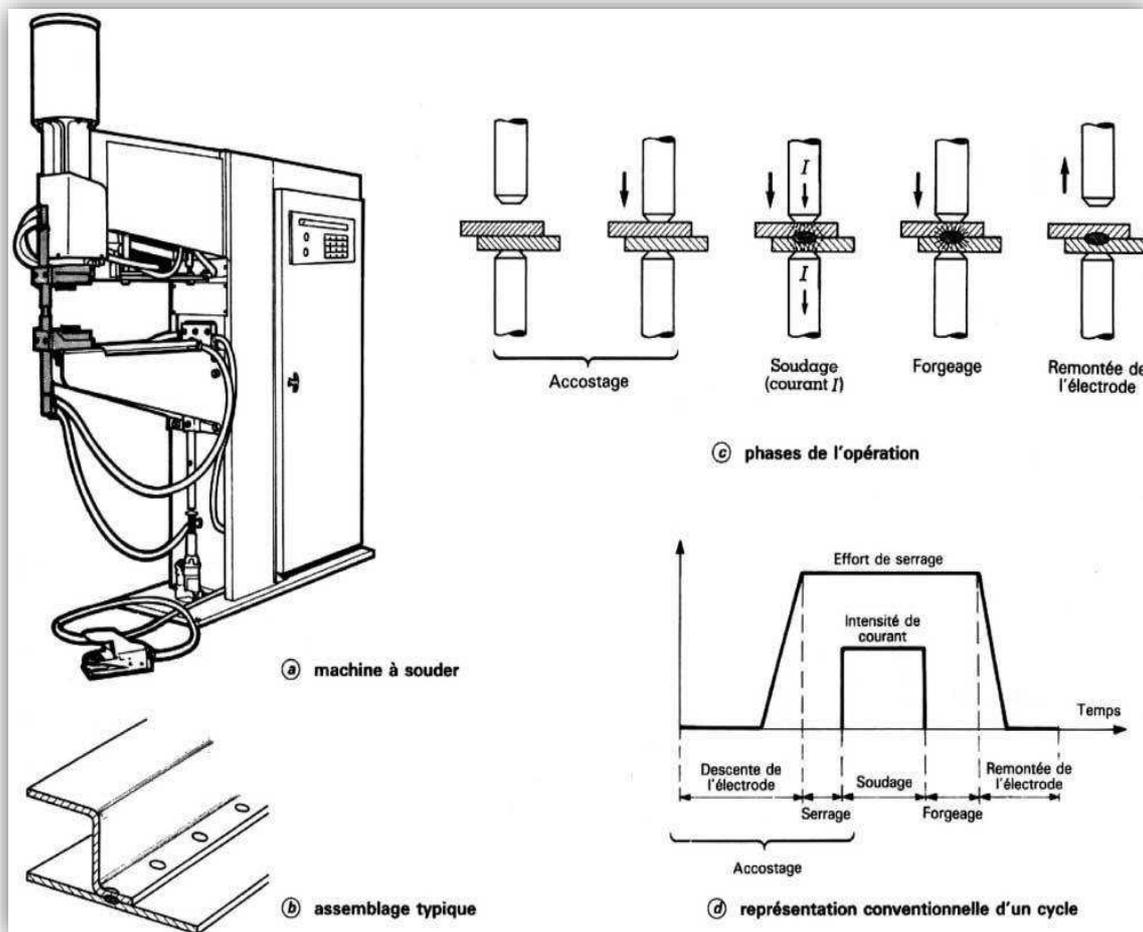


Figure II.8 : Soudage par points.

II.2.2.2 Soudage à la molette :

Le soudage à la molette diffère du soudage par points en ce que les électrodes classiques sont ici remplacées par des disques en cuivre, ou molettes, qui par rotation permettent de faire des soudures par recouvrement, continues et étanches.

Chapitre II : généralité sur les techniques de soudage

La soudure se réalise de façon progressive et continue, associant serrage des tôles et passage du courant, sur toute la longueur du cordon à réaliser.

➤ Un cycle de soudage comporte donc les phases suivantes, similaires à celles du soudage par points :

- l'**accostage** : les deux molettes viennent serrer, pour les accoster et localiser le courant, les deux pièces à souder au point de départ ;
- le **soudage** : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire, et la rotation des molettes est engagée, créant une liaison continue ;
- l'**arrêt** qui commande l'écartement des molettes en fin de cordon.

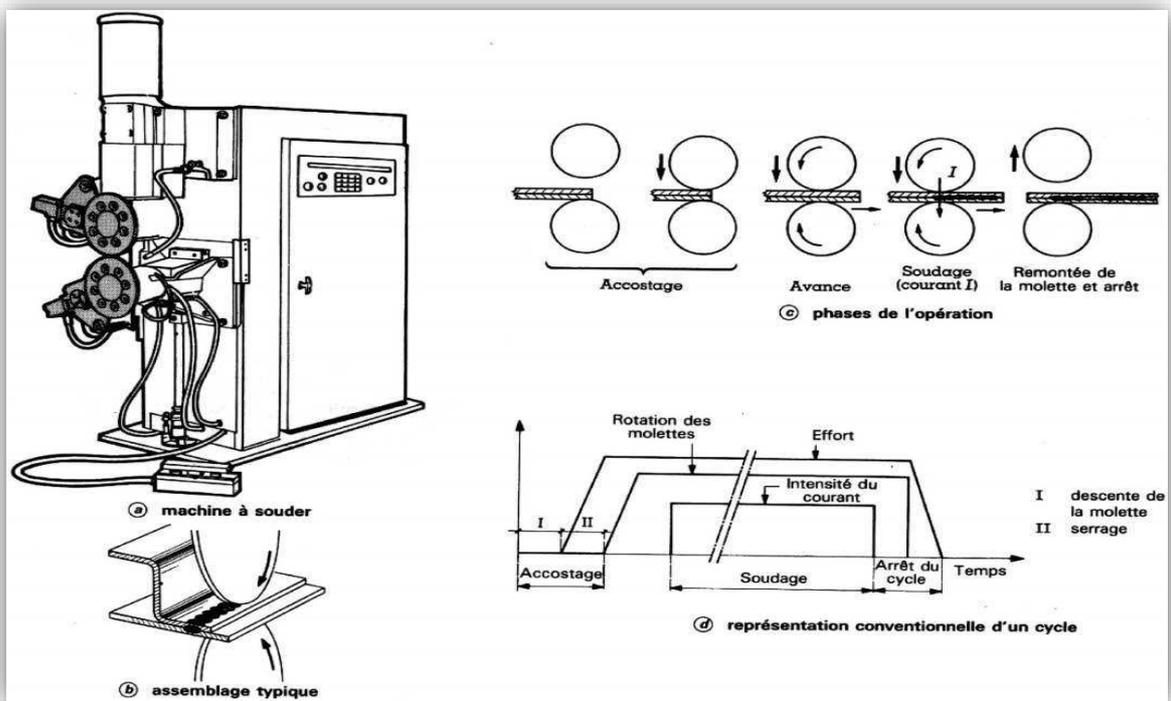


Figure II.9 : Soudage à la molette.



Figure II.10 : soudeuses par résistance, (a) par molette, (b) par point.

II.2.2.3 Soudage par bossages :

Ce procédé est également appelé soudage par protubérances ou soudage par projections. Il permet de réaliser des assemblages continus ou discontinus par superposition ; mais il se distingue du soudage par points ou à la molette en ce que la localisation du courant et de l'effort sur la zone de soudage n'est pas obtenue par les électrodes, mais par la géométrie des pièces à souder elles-mêmes. Il est, de plus, un procédé de soudage global.

Le figure (...) donne trois exemples typiques d'assemblage par bossages ou s'y ramenant :

a) soudage de deux tôles à plat. L'une des tôles a reçu préalablement par emboutissage un certain nombre de **bossages** qui vont servir à localiser courant et effort ;

b) soudage d'une bride sur une plaque, sur toute la périphérie ; la soudure est continue et étanche et s'effectue par la fusion du chanfrein prévu dans ce but ;

c) soudage de deux fils en croix. C'est le cas intéressant où la localisation est naturelle et où les pièces ne doivent subir aucune préparation [14].

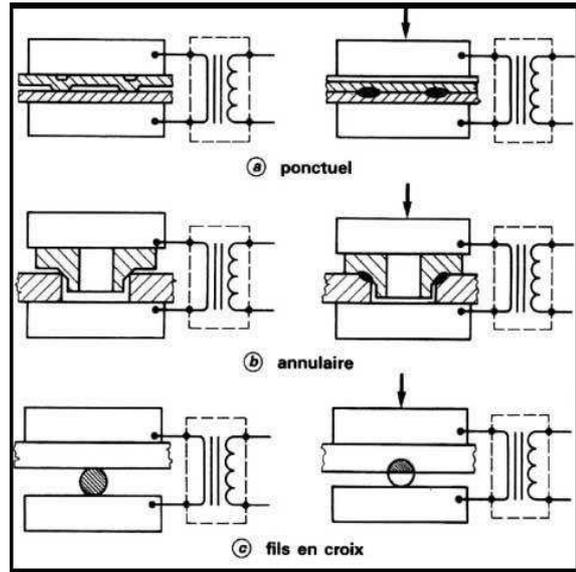


Figure II.11 : exemples typiques de soudé Par bossages.

II.2.3 Soudage à la flamme (au chalumeau) :

L'emploi d'une flamme pour le soudage proprement dit, à l'aide d'un chalumeau, ne remonte en fait qu'au début du 20e siècle.

C'est un procédé de soudure par fusion où la chaleur de soudure est produite par la combustion de gaz. La composition oxygène-acétylène (oxyacétylénique) est aujourd'hui presque exclusivement employée. L'emploi de flux décapants permet de combattre l'oxydation en cours de soudage. Ce procédé se subdivise comme suit :

- sans flamme auxiliaire ou avec flamme auxiliaire réductrice.

Flamme oxyacétylénique résultant de la combustion d'un volume d'acétylène (gaz combustible) pour deux volumes et demi d'oxygène (comburant) [15].

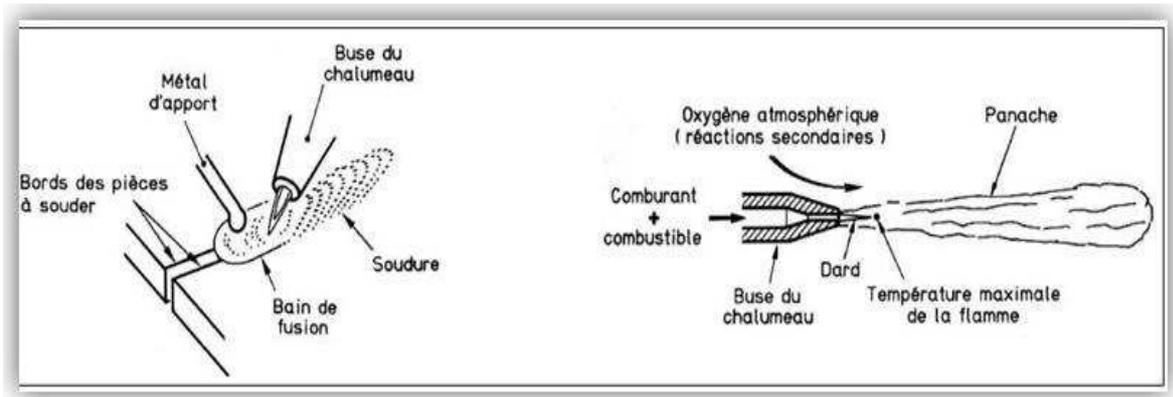


Figure II.12 : Soudage à la flamme.

➤ **Modes opératoires :**

a. Soudage pur :

• **Phénomène de tension superficielle :**

À partir du moment où le métal est porté à fusion, les phénomènes de capillarité vont devenir primordiaux.

Comme dans les autres procédés, dans la plupart des cas, l'opérateur n'a accès visuel qu'à un seul côté des pièces à assembler. Il faut donc maintenir en équilibre un bain de soudure liquide qui soit :

- suffisamment profond pour que la totalité de l'épaisseur soit atteinte ;
- pas trop large pour ne pas outrepasser les possibilités de la tension superficielle qui agit comme une membrane soutenant le bain liquide entre les points A et B (figure ...).

L'équilibre judicieux entre ces deux impératifs est délicat à maintenir et plusieurs semaines d'entraînement sont nécessaires pour maîtriser correctement le processus opératoire.

La figure(...) explicite ce qui précède avec :

- en (a) l'aspect des pièces brutes avant soudage ;
- en (b) une soudure correctement exécutée ;
- en (c) une soudure pénétrant insuffisamment et défectueuse par résistance insuffisante et effet d'entaille ;
- en (d) une soudure trop large provoquant des effondrements de bain en cours de soudage : en pratique, la largeur du cordon de pénétration sous la soudure (distance d sur la figure...) peut difficilement dépasser 3 à 4 mm [16].

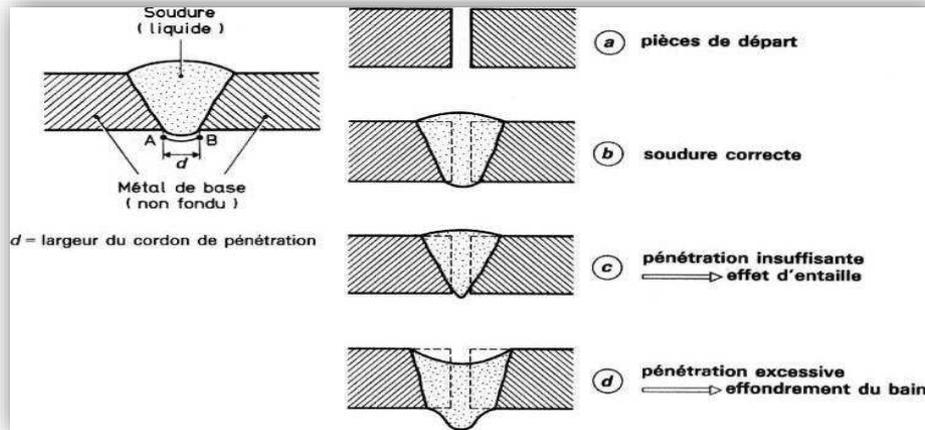


Figure II.13 : Défauts des soudures.

• **Produits d'apport :**

Un simple fil d'acier doux (acier non allié) peut à la rigueur convenir, mais les baguettes d'apport spécialement conditionnées pour le soudage font appel à des aciers extra-doux à bas carbone (0,05 à 0,1 %) et comportant une petite addition de silicium qui renforce l'effet désoxydant de la flamme.

Les diamètres les plus courants s'étagent de 2 à 4 mm et le diamètre convenable croît avec l'épaisseur à souder.

b. Soudo-brasage :

La Différences opératoires par rapport au soudage pur Cette technique est, sous l'angle du mode opératoire, beaucoup plus proche du soudage pur que du brasage, puisque l'exécution de la liaison entre pièces se réalise par un échauffement de proche en proche, le métal d'apport étant déposé goutte à goutte dans le bain liquide.

En fait, les seules différences avec le soudage seront :

- l'hétérogénéité métallurgique, le métal d'apport étant différent du métal de base (mais cela ne concerne pas le processus opératoire) ;
- l'absence de fusion du bord des pièces à assembler. Ce second point est extrêmement important, car il fait disparaître la principale difficulté opératoire du soudage (figure...).

En complément, le soudo-brasage réduit l'échauffement des pièces (800 ° C contre 1 600° C environ) avec des conséquences favorables sur les déformations et les éventuelles modifications de structure [17].

• **Produits d'apport :**

D'un point de vue strictement métallurgique et en négligeant l'exécution de proche en proche, les phénomènes de mouillage sont les mêmes en soudo-brasage et en brasage :

Chapitre II : généralité sur les techniques de soudage

- l'exécution de joints sur acier fait presque toujours appel à un alliage de laiton ;
- l'exécution de joints sur cuivre ou laiton met généralement en oeuvre un alliage cuivre-phosphore ou divers alliages à base d'argent, mais ces derniers mouillent les pièces avec une telle facilité qu'on se retrouve, malgré un chauffage de proche en proche, presque dans le cas d'une brasure exécutée globalement ;
- les flux décapants sont les mêmes que pour le brasage, mais sont apportés dans le bain sous forme d'enrobage de la baguette d'apport.

II.3 Choix d'un procédé :

Selon la situation, le choix d'un procédé s'effectuera :

- par une analogie ou une extrapolation à partir d'une expérience déjà acquise que l'on adaptera ; c'est le cas de ce que nous appellerons *les assemblages conventionnels* ;
- par nouvelle évaluation.

Dans certains domaines où le soudage et les soudures sont fortement réglementés, le choix du procédé n'est généralement pas libre, il faut alors adopter une approche qui inclut nécessairement la connaissance des possibilités des différents procédés.

II.3.1 Approche en fonction du domaine d'application :

On a coutume de distinguer trois grands domaines d'application du soudage :

- les produits semi-finis ;
- les fabrications mécaniques en général ;
- les composants de toutes sortes, se rapportant à deux sous-domaines relatifs respectivement aux pièces usinées et aux assemblages de tôles formées.

II.3.2 Approche générale :

Cette approche volontairement sommaire comporte trois types de considérations ayant trait respectivement :

- à l'assemblage et à la définition des soudures à réaliser ;
- à la soudabilité eu égard aux techniques de soudage applicables ;
- aux résultats technique et économique recherchés.

II.3.3 Définition des soudures. Critères dimensionnels :

La première question est de préciser au plan de joint le dessin des pièces, déjà défini globalement par la destination et la fonction de l'assemblage, en fonction du procédé de soudage envisagé et, pour ce faire, déterminer :

- la position du ou des joints ;
- les dimensions de la liaison ;
- le dessin des bords (en corrélation avec les différents procédés applicables).

Cette analyse préliminaire conduit à une première sélection des procédés possibles ; elle s'exécute au bureau d'études.

En même temps que la soudabilité métallurgique (avec ou sans pression et métal d'apport, etc.), on doit considérer et définir :

- la nature de la liaison soit en bout (rabotage bord à bord pour la recherche de la continuité et/ou de l'étanchéité ou assemblage en bout), en considérant la section droite transversale à souder (en millimètres carrés), soit en T, à clin, par recouvrement autre, etc. ;
- les épaisseurs en présence (en millimètres).

II.3.4 Soudabilité des matériaux :

La sélection du ou des matériaux est en fait une question préalable mais qui, dans le cas le plus général, reste posée tout au long de l'étude. Elle comporte la vérification de la soudabilité qui n'est pas toujours acquise pour tous matériaux et procédés, encore que les producteurs visent en permanence à mettre sur le marché des produits que l'on pourra *travailler*, c'est-à-dire couper, former, assembler, traiter, etc.

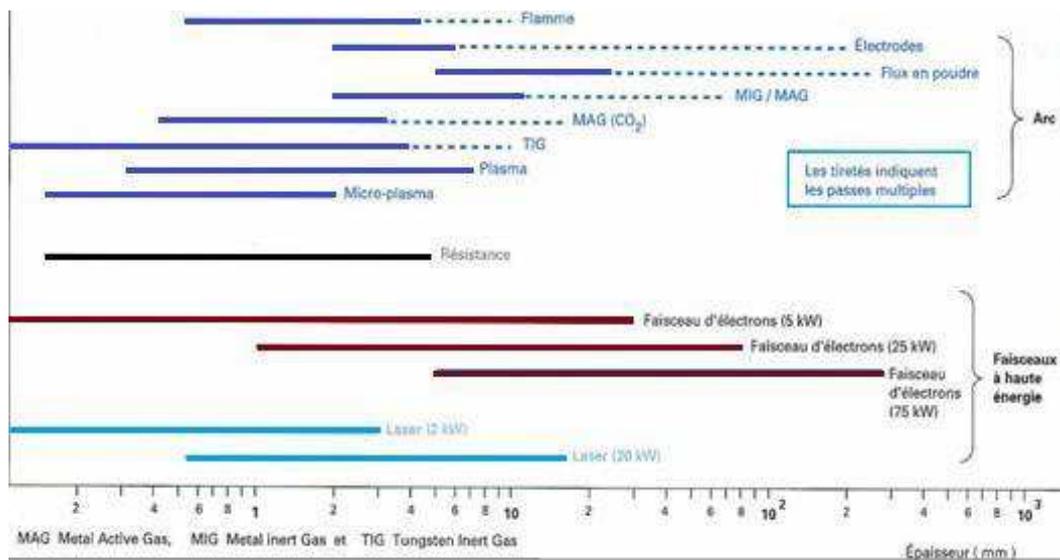


Figure II.14 : Correspondance épaisseurs-procédés.

II.3.5 Examen économique :

Cet examen permet de parfaire la démarche et établit le choix final. Il a deux volets :

- il constitue un critère de comparaison qui peut éliminer, pour des questions de coût, certains procédés ;
- pour un procédé donné, et en fonction de la destination de la pièce soudée, il établit le compromis coût/qualité et peut influencer sur le niveau technologique de l'équipement de soudage retenu et sur la procédure.

Il est fondé sur le calcul du prix de revient de la pièce soudée selon les diverses solutions techniques envisageables. Ce calcul n'offre aucune difficulté particulière.

Au plan des investissements, le tableau(...) donne de façon indicative les prix comparés d'installations de soudage classiques. Il n'y est pas tenu compte du degré de précision et d'automatisme des installations, qui influe sur leurs prix dans des proportions importantes [18].

II.4 Soudage de l'aluminium et ses alliages :

Le soudage de l'aluminium et de ses alliages présente des difficultés liées aux caractéristiques physico-chimiques de ce métal.

La température de fusion de l'aluminium est de moins de 700°C (à comparer avec celle de l'acier 1550°C). Cette température est très inférieure à la température de l'arc électrique de soudage (2500 à 3500°C suivant polarité), ce qui explique que l'on perce facilement à l'amorçage, notamment en MIG, les fines tôles (épaisseur inférieure à 2.5 mm).

Une difficulté supplémentaire vient de la couche d'alumine en surface de l'aluminium. Cette couche d'alumine est une sorte de film transparent composé d'oxydes venant de la réaction de l'air avec l'aluminium. C'est cette couche d'alumine qui protège l'aluminium contre toute forme de corrosion sévère. L'alumine fond à 2500°C et pour commencer à souder, il faut rompre ce film (ce qui se fait naturellement en **MIG**, ce qui se fait avec une l'alternance positive en **TIG courant alternatif**). Pour être le moins ennuyé possible avec l'alumine, il convient de brosser (brosse inox) énergiquement les tôles justes avant de souder.

Une autre difficulté importante lors du soudage de l'aluminium est la capacité de celui-ci à dissiper la chaleur (c'est d'ailleurs pourquoi l'aluminium est souvent utilisé en électronique pour refroidir les circuits). Lors du soudage, la chaleur produite par l'arc se dissipe très rapidement. C'est pourquoi le soudage des tôles épaisses (supérieures à 4 – 5 mm) demande plus d'énergie au démarrage du soudage. Après, les tôles devenant chaudes, il faut si possible diminuer les paramètres de soudage ou à défaut augmenter la vitesse de soudage pour éviter l'effondrement du cordon.

II.4.1 Soudage à l'arc sous gaz inerte :

Ce procédé est actuellement le plus utilisé car il a été particulièrement adapté à l'aluminium.

Deux variantes permettent de couvrir pratiquement tous les cas de figure.

II.4.2 Soudage avec électrode réfractaire ou procédé TIG :

La version la plus courante du soudage TIG de l'aluminium est celle utilisant un courant alternatif (l'alternance négative assurant le décapage de la couche d'alumine, l'alternance positive permettant le refroidissement de l'électrode). Un matériel spécifique est obligatoire pour l'aluminium : il est en effet nécessaire de disposer d'une tension à vide élevée et la superposition d'un courant haute fréquence permet de stabiliser l'arc et d'assurer l'équilibre des alternances. Le gaz protecteur est constitué soit par l'argon, soit par le mélange argon (70 %) hélium (30 %). Les avantages du procédé sont :

- la suppression du flux et des enrobages d'électrodes ;
- de grandes vitesses d'exécution d'où une réduction des déformations ;
- un bel aspect des soudures ;
- des possibilités de mécanisation et automatisation [19].

II.4.3 Soudage avec électrode consommable ou procédé MIG :

Dans ce procédé, un fil d'aluminium ou d'alliage d'aluminium se déroulant automatiquement sert à la fois d'électrode et de métal d'apport. L'alimentation électrique doit être en courant continu avec polarité inverse (pôle négatif à la pièce, pôle positif à l'électrode), ce qui permet d'obtenir simultanément un bon décapage de la pellicule d'alumine, donc un bain brillant et propre, et un fort échauffement du fil d'électrode qui provoque sa fusion. Pour assurer une bonne stabilité de l'arc, la pente de la caractéristique de la source d'alimentation doit être faible, de l'ordre de 3 %. De plus, la superposition d'un courant pulsé au courant continu de base est avantageuse car elle permet une plus grande facilité d'exécution. Le gaz protecteur est constitué soit par l'argon pur (surtout pour les épaisseurs supérieures à 8 mm), soit par le mélange hélium (70 %) argon (30 %) [20].

II.4.4 Soudage oxyacétylénique :

Ce procédé, très ancien, est de moins en moins utilisé car supplanté par les procédés TIG et MIG. Le matériel et les conditions opératoires sont les mêmes que pour les aciers mais, dans le cas de l'aluminium, la baguette d'apport est recouverte d'un flux qui, fondant à une température inférieure à celle de la baguette, élimine la couche d'oxyde qui recouvre naturellement les pièces à assembler. On distingue deux sortes de flux :

- les flux corrosifs dont les résidus solubles dans l'eau doivent être impérativement éliminés ;

Chapitre II : généralité sur les techniques de soudage

— les flux non corrosifs à adopter si les lavages sont impossibles. Le soudage oxyacétylénique est surtout intéressant pour les épaisseurs inférieures à 3 mm. Il permet cependant de souder toutes épaisseurs (> 10 mm) en passes multiples [21].

II.4.5 Soudage par résistance :

Le principe reste le même que dans le cas du soudage de l'acier mais, compte tenu des propriétés physiques particulières de l'aluminium, les temps de soudage sont plus courts et les intensités secondaires plus élevées. Différents types de soudage par résistance peuvent être utilisés pour l'aluminium (par point et par molette) [22].

II.5 Conclusion :

Dans ce domaine, nous avons mentionné des informations générales sur les différentes techniques de soudage et ces domaines d'utilisation et les principes de son travail, ensuite nous avons abordé comment choisir le meilleur procédé de soudage basé sur la soudabilité des matériaux et d'autres choses. Puis nous évoqué le problème de soudage d'aluminium.

Enfin nous avons conclu, que c'était mieux aux méthodes de soudage de l'aluminium ce qui nous fournit plusieurs caractéristiques telles que la rapidité de production et la possibilité de conserver de bonnes propriétés mécaniques.

Le soudage **MIG** au courant pulsé et **TIG** au courant alternatif c'est les meilleurs procédés de soudage adapté à l'aluminium.

III.1. Conception d'un produit :

La conception désigne les efforts collectifs destinés à créer des objets, des équipements, des techniques, voire des systèmes qui sont à la fois inédits et conformes aux valeurs ou à des désirs donnés. Dans le monde industriel, la conception consiste à inventer, développer et commercialiser sur un marché, un produit ou un service nouveau.

Historiquement, le processus de conception a pris des formes différentes selon le degré d'innovation des objets et selon les organisations et les stratégies des firmes où ils ont été développés. Il existe de plus en plus de travaux sur l'histoire des activités de conception [23].

III.1.2 La Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O) :

La CAO comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur des produits manufacturés. En CAO on ne dessine pas on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace non réel selon un logiciel. La CAO est utilisée par plusieurs corps de métier, en mécanique, en électronique, en aviation.

Elle permet d'avoir un prototype numérique du résultat final que nous voulons obtenir, et permet au concepteur d'exprimer et de modéliser un grand nombre de contraintes pendant la phase de conception d'un ensemble mécanique. Les logiciels correspondants sont utilisés lors d'une ou de plusieurs phases de développement.

Les logiciels modernes permettent une conception directe en trois dimensions et sont surtout intéressants pour les fonctionnalités proposées. Ces logiciels aident non seulement à la création des pièces mécaniques ou à la mise en oeuvre de leur fabrication, mais aussi à la simulation de leur comportement et donc la validation des solutions retenues une fois la création terminée. Donc actuellement on peut trouver un logiciel pour chaque étape de la conception d'un produit [24].

III.1.3 Système de CAO 3D :

L'utilisation d'un système de CAO 3D offre beaucoup de possibilités face au dessin traditionnel il permet une meilleure conception et réalisation, facilite la génération des dessins de définition, la majorité intègre un système de simulation par éléments finis ce qui permet de simuler l'utilisation dans des conditions réelles et certains ont un module de FAO (fabrication assistée par ordinateur) pour faciliter les opérations de fabrication [25].

III.1.3 SolidWorks :

SolidWorks est un Logiciel de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows. C'est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle [26].

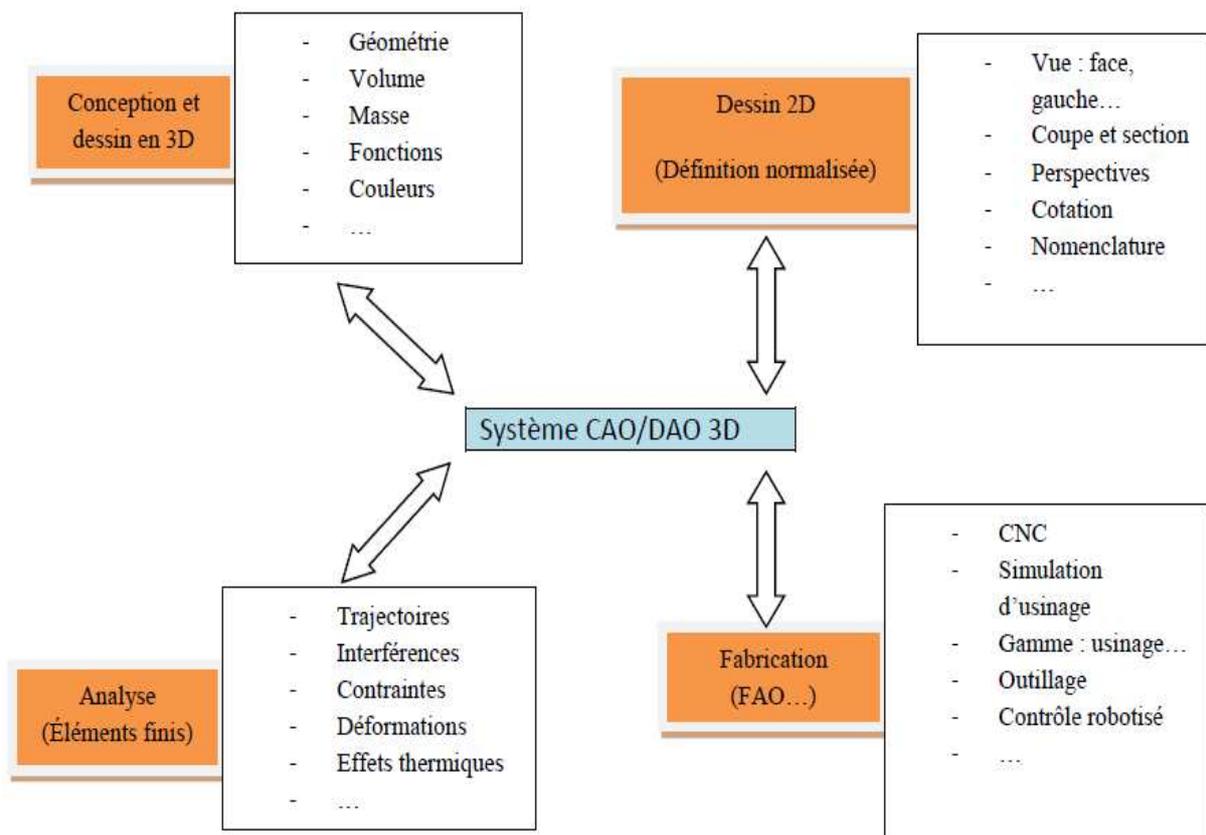


Figure III.1 : Principales applications d'un système CAO/DAO 3D.

III.2. Conception de réservoir Réf N° 1143617 :



Figure III.2 : Réservoir combustible monté dans le cadre châssis.

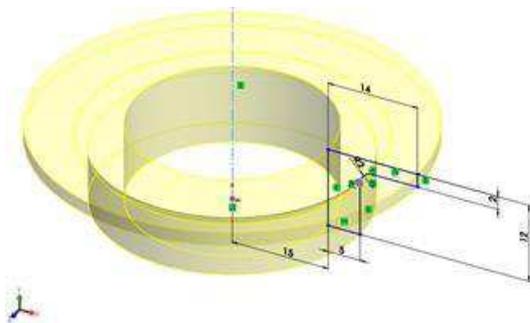
III.2.1 Conception des embases :

Les embases sont les pièces suivantes :

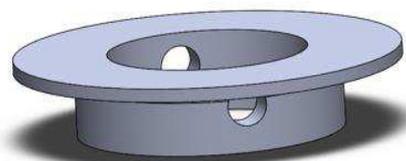
- Embase de départ et vidange RefN°281998.
- Embase de jauge Réf N° 292484.
- Embase de départ Réf N°292897.
- Embase de Réf N° 292897.
- ensemble *Bouchon de vidange* Réf N°466202 avec *joint fibre* Réf N°324202.

III.2.1.1 Conception d'Embase de départ et vidange Réf N°281998 :

La matière utilisée est : acier "XC10".



(a) : esquisse + révolution



(b) la pièce fini

Figure III.3 : conception embase de départ et vidange.

III.2.1.2 Conception Embase de jauge Réf N° 292484 :

La matière utilisée est : tôle d'acier doux décapée soudable épaisseur 3.5 ou 4mm.

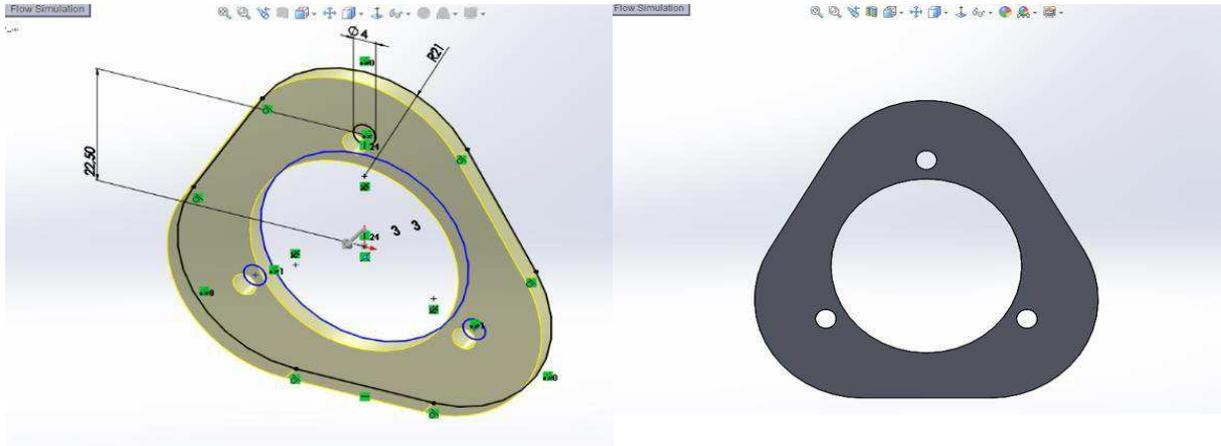


Figure III.4 : Conception Embase de jauge.

III.2.1.3 Conception d'Embase de départ Réf N°292897 :

La matière utilisée est : acier 'XC18' et elle est fabriquée aux Bâtiment mécanique.

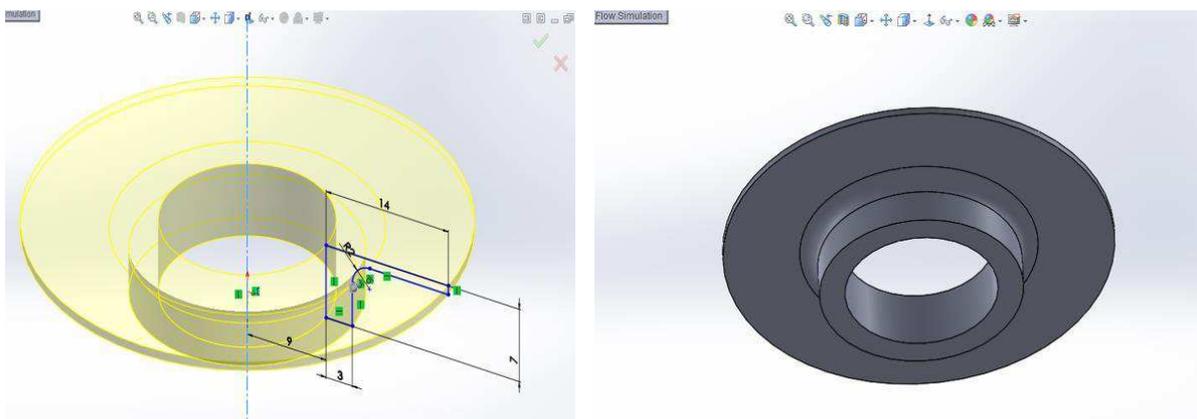


Figure III.5 : Conception d'Embase de départ.

III.2.1.4 Conception ensemble bouchon de vidange réf N°466202 :

a. Conception de joint fibre réf N°324202 : la matiere est un fibre .

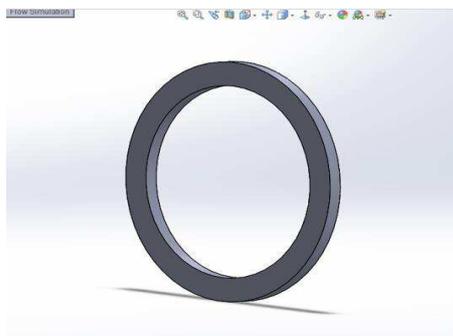


Figure III.6 : Conception de joint fibre.

b. Conception de bouchon Réf N°466203 :

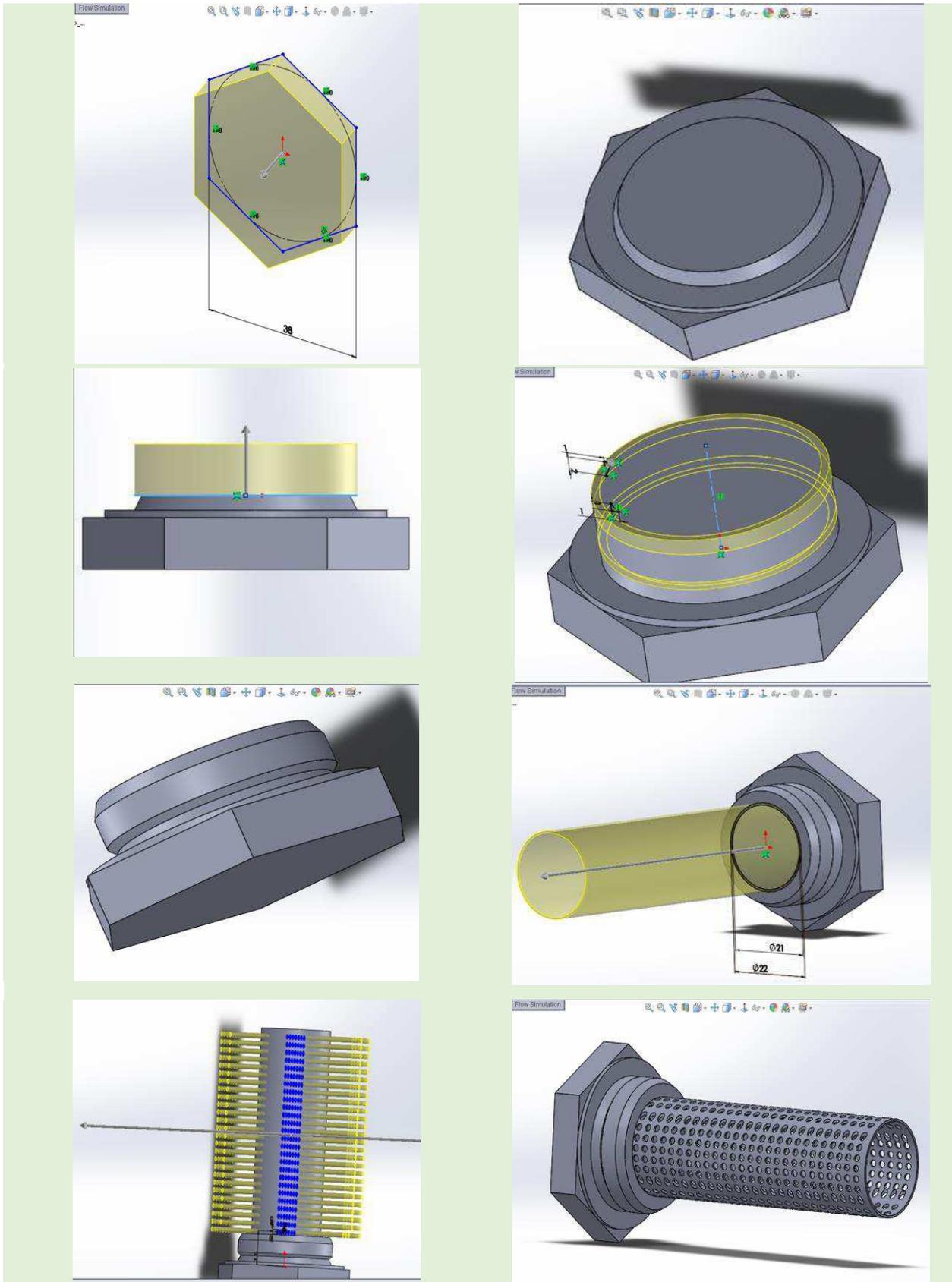


Figure III.7 : les étapes de conception de bouchon.

III.2.2 Conception d'ensemble tubulaire Réf N°1143624 :

III.2.2.1 Conception de manchette Réf N°707349 :

La matière utilisée est : un tube en acier étiré sans soudure.

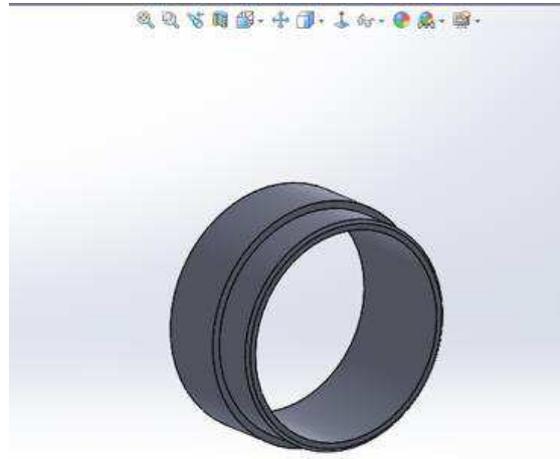


Figure III.8 : Conception de manchette.

III.2.2.2 Tube de remplissage Réf N°1143619 :

La matière est : tôle d'acier doux ép 12/10 ou tube roulé soudé.

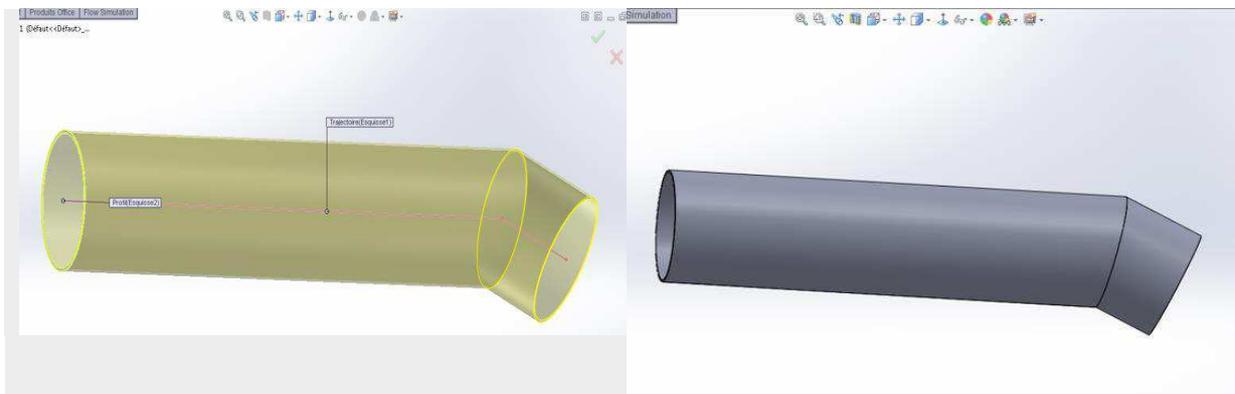


Figure III.9 : Conception de Tube de remplissage.

III.2.3 Conception des deux fonds de réservoir et le chicane :

III.2.3.1 Conception de fond gauche Réf N° 5010488 :

La matière est : tôle d'acier doux ép=15/10 mm.

Pour le fond, la forme de la surface est quelque peu sphérique à l'intérieur.

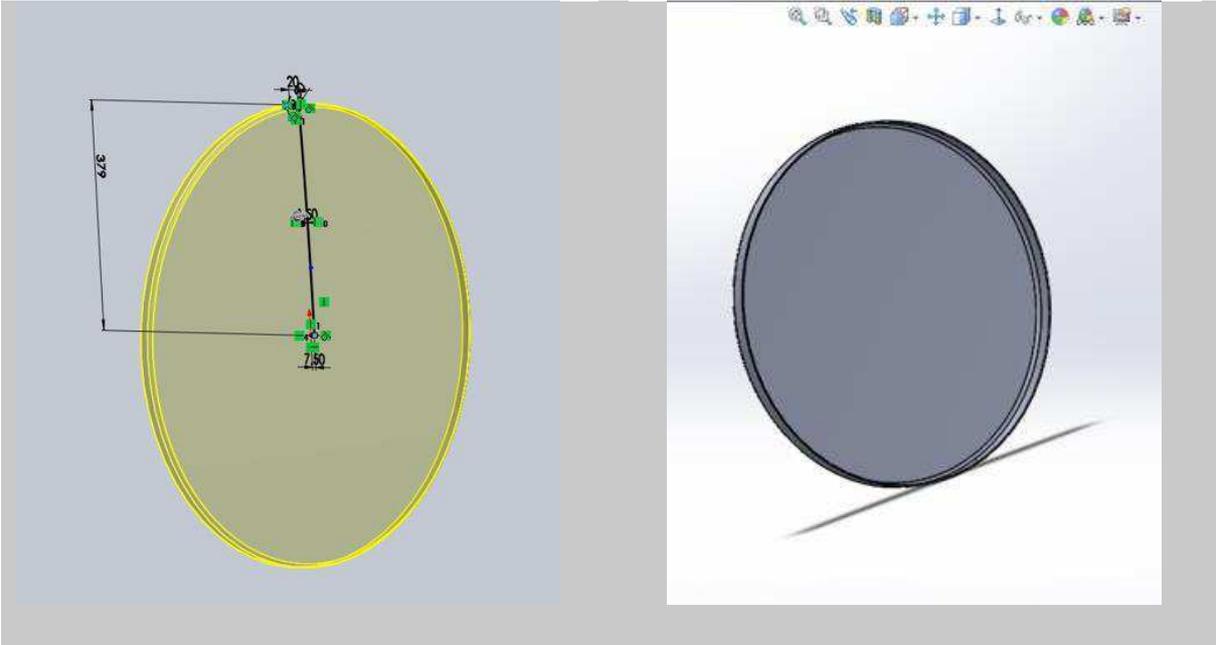


Figure III.10 : Conception de fond gauche.

III.2.3.2 Conception de fond droit Réf N° 5010984 :

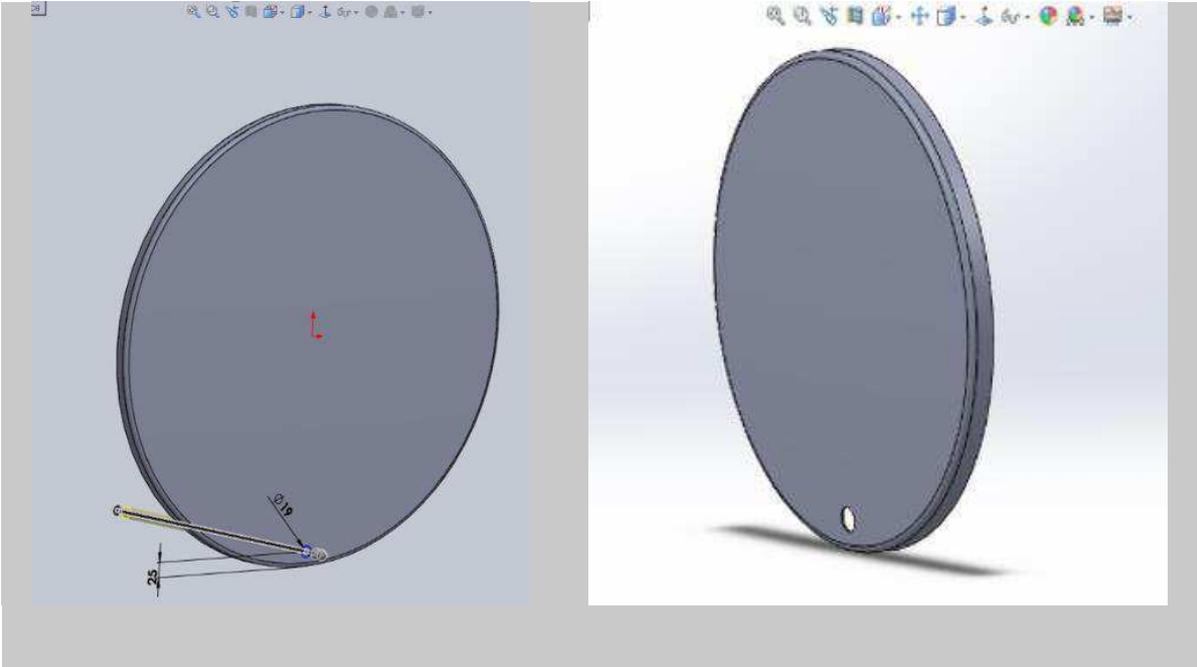


Figure III.11 : Conception de fond droit.

III.2.3.3 Conception de chicane Réf N° 5010488 :

La matière est : tôle d'acier doux ép=15/10 mm



Figure III.12 : Conception de chicane.

III.2.4 Conception de corps de réservoir Réf N°5010487 :

Le matériau utilisé est une tôle d'acier doux ép =15/10 ou 20/10 mm.

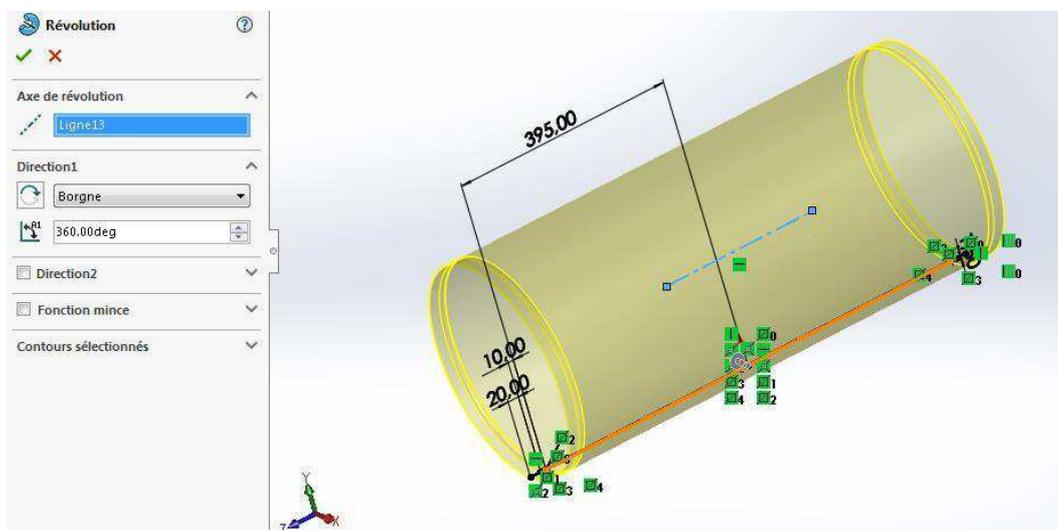


Figure III.13 : conception de corps, (esquisse avec la fonction révolution).



Figure III.14 : corps de réservoir fini.

III.2.5 L'assemblage des éléments de réservoir en acier Réf N°1143617 :

Les éléments constitutifs du réservoir sont :

- Corps de réservoir.
- Deux fonds (droit et gauche).
- Chicane
- Ensemble tubulaire (tube de remplissage +manchette).
- Bouchon de vidange + joint fibre
- Embase de départ et vidange départ.
- Embase de départ.
- La technique d'assemblage des pièces entre elles est le soudage par résistance.

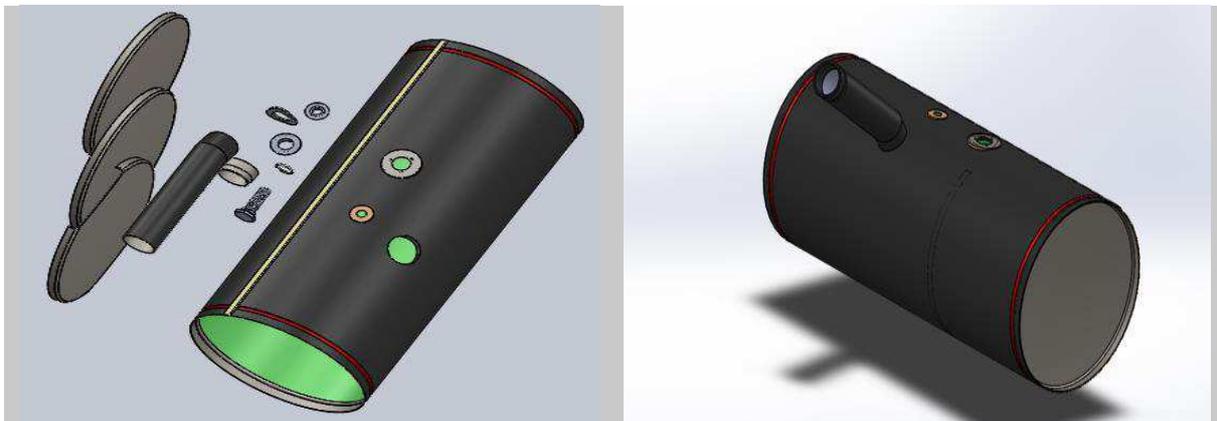


Figure III.15 : l'assemblage des éléments de réservoir.

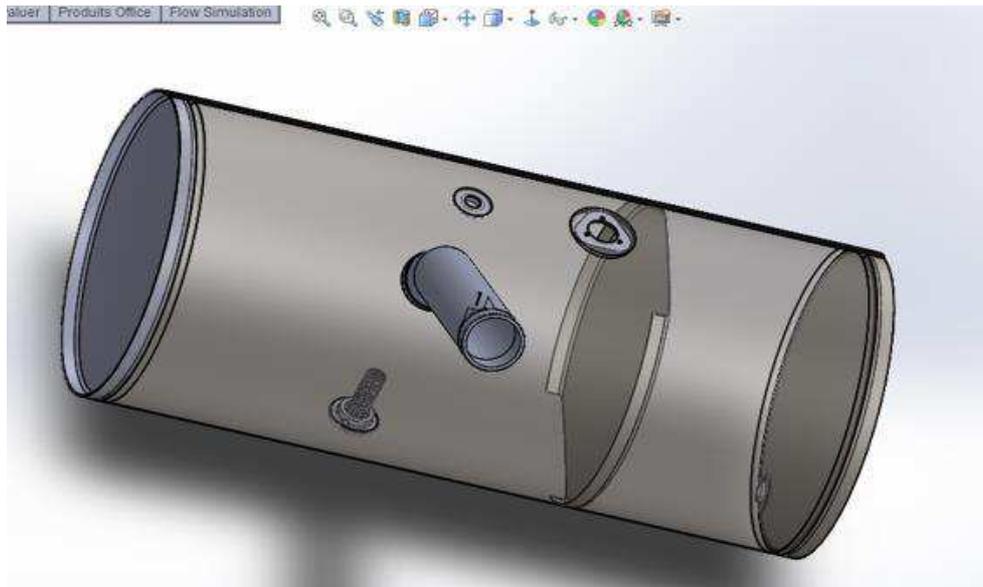


Figure III.16 : vue à l'intérieure de réservoir en acier.

III.3 Ré conception du réservoir en aluminium :

Nous avons proposé trois modèles de réservoir en aluminium comme suit :

III.3.1 Ré conception des embases :

- Les embases des modèles de réservoir en aluminium elle ne diffère pas avec ceux du réservoir en acier.

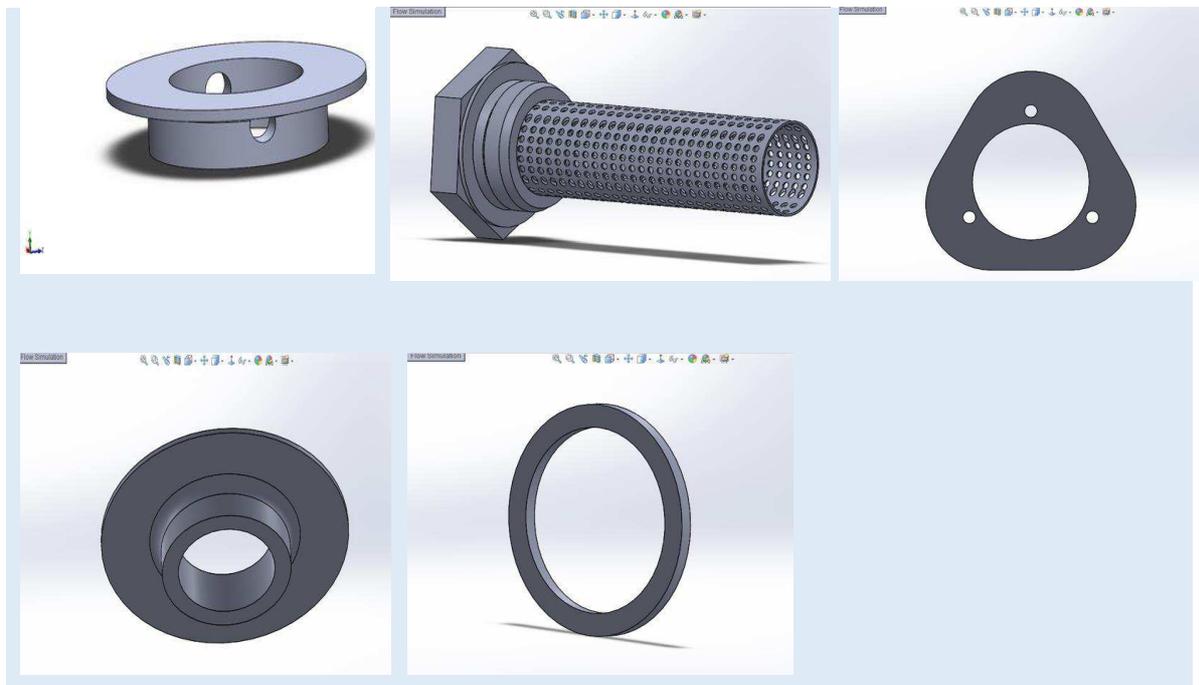


Figure III.17 : Ré conception des embases de réservoir.

III.3.2 Ré conception d'ensemble tubulaire :

- L'ensemble tubulaire de trois modèles de réservoir en aluminium elle ne diffère pas avec ceux du réservoir en acier.

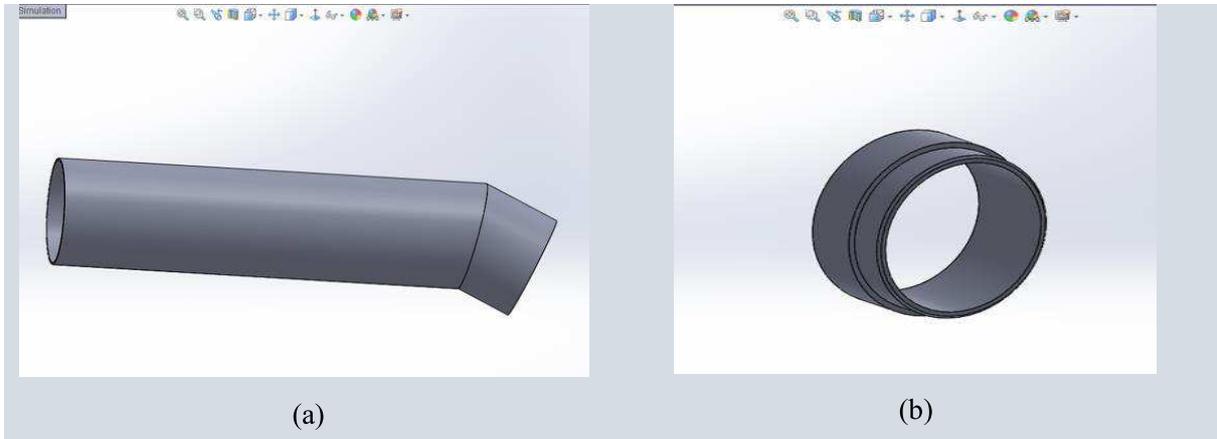


Figure III.18 : Ré conception d'ensemble tubulaire, (a)tube, (b) manchette.

III.3.3 Ré conception des deux fonds et le chicane :

L'assemblage des deux fonds avec le corps de réservoir en acier fait avec procédé de soudage par résistance (par molette) mais nous avons proposé d'inversé la direction des bords des deux fonds dans cette nouveau modèle à la cause de la technique d'assemblage (soudage MIG ou TIG).

- Nous avons proposé d'étudié 3 modèles des fonds de réservoir en aluminium.

III.3.3.1 Ré conception du Fond droit :

III.3.3.1.1 Ré conception du Fond droit 1^{er} modèle :

Ép=1.5 mm ; D=382mm ; Longueur des bords =30mm ; La surface de fond droite est complètement plate.

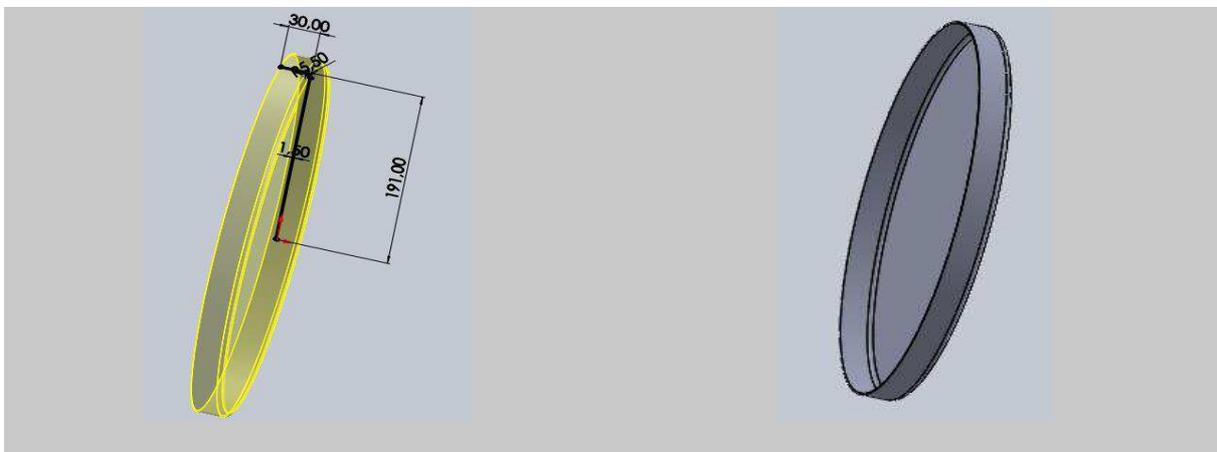


Figure III.19 : fond aluminium droit modèle 01.

III.3.3.1.2 Ré conception du Fond droit 2^{ème} modèle :

$\acute{E}p=1.5\text{ mm}$; $D=382\text{mm}$; Longueur des bords= 30mm ; La forme de la surface est quelque peu sphérique à l'extérieur.

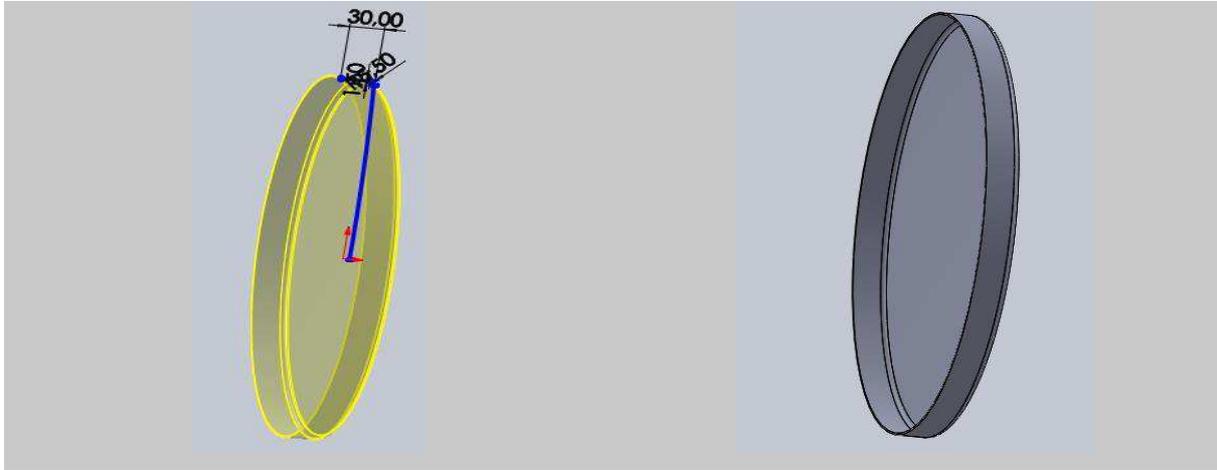


Figure III.20 : fond aluminium droit modèle 02.

III.3.3.1.3 Ré conception du Fond droit 3^{ème} modèle : Pour ce modèle, nous avons proposé d'éliminer complètement les bords afin d'éviter le processus d'emboutissage.

$\acute{E}p=1.5\text{ mm}$; $D=382\text{mm}$; $L=00\text{mm}$; plat

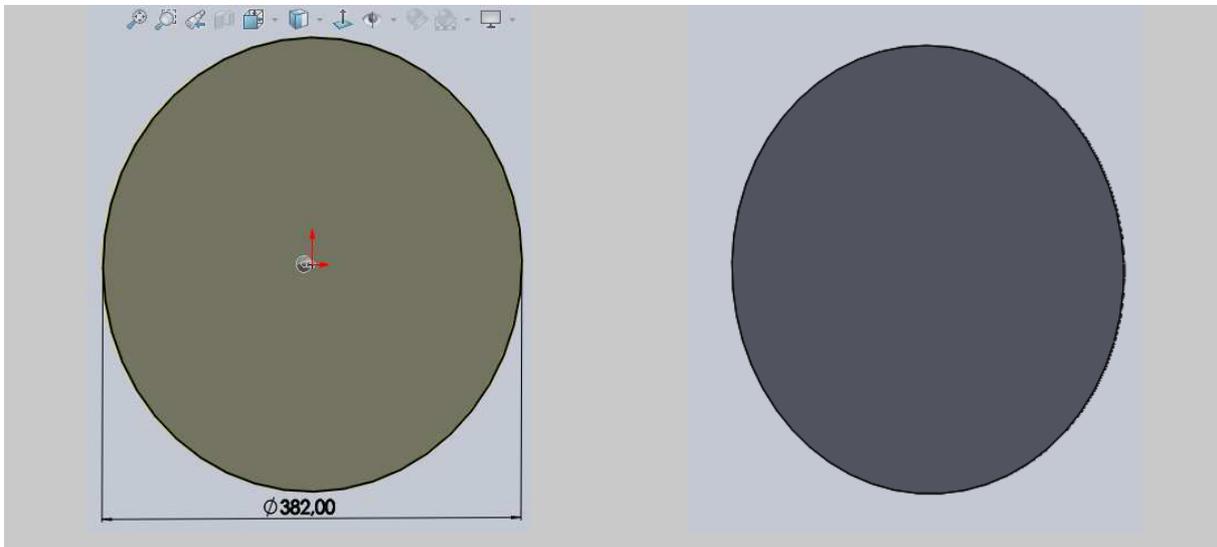


Figure III.21 : fond aluminium droit modèle 03.

III.3.3.2 Ré conception de Fond gauche :

III.3.3.2.1 Ré conception du Fond gauche 1^{er} modèle :

$\acute{E}p=1.5\text{mm}$; $D=382\text{mm}$; Longueur des bords = 30mm ; La surface de fond gauche est complètement plate.

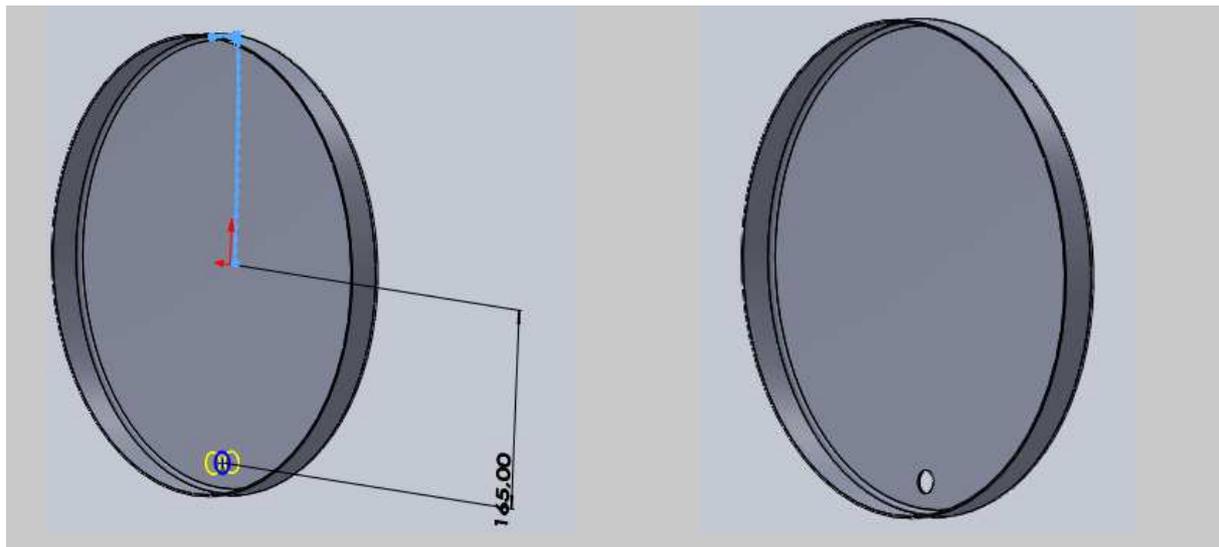


Figure III.22 : fond aluminium gauche modèle 01.

III.3.3.2 Ré conception du Fond gauche 2^{ème} modèle :

$\acute{E}p=1.5mm$; $D=382mm$; Longueur des bords =30mm ; La forme de la surface est quelque peu sphérique à l'extérieur

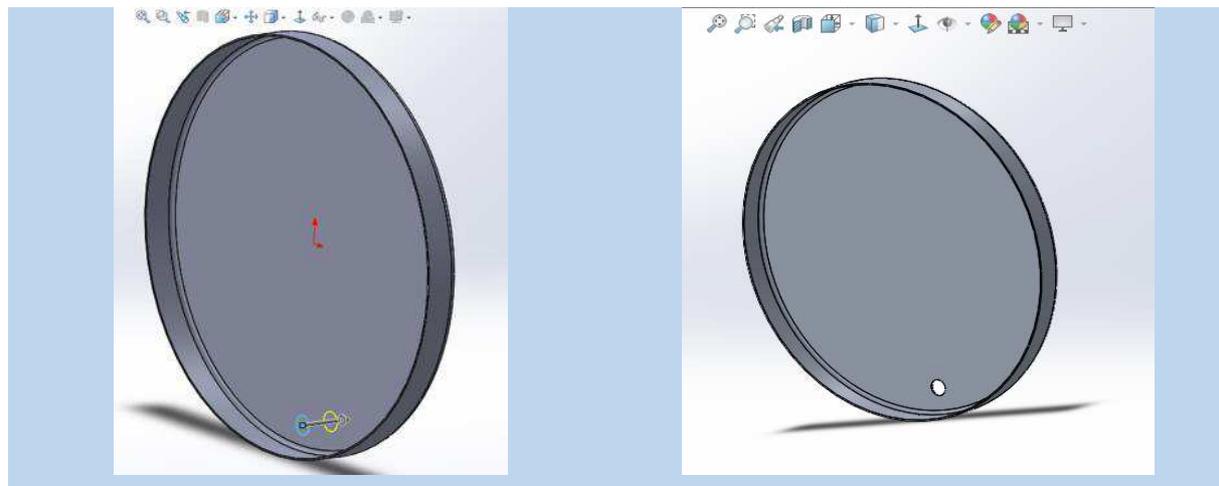


Figure III.23 : fond aluminium gauche modèle 02.

III.3.3.2.3 Ré conception du Fond gauche 3^{ème} modèle :

$\acute{E}p=1.5\text{ mm}$; $D=382\text{mm}$; $\text{Longueur des bords}=00\text{mm}$; plat

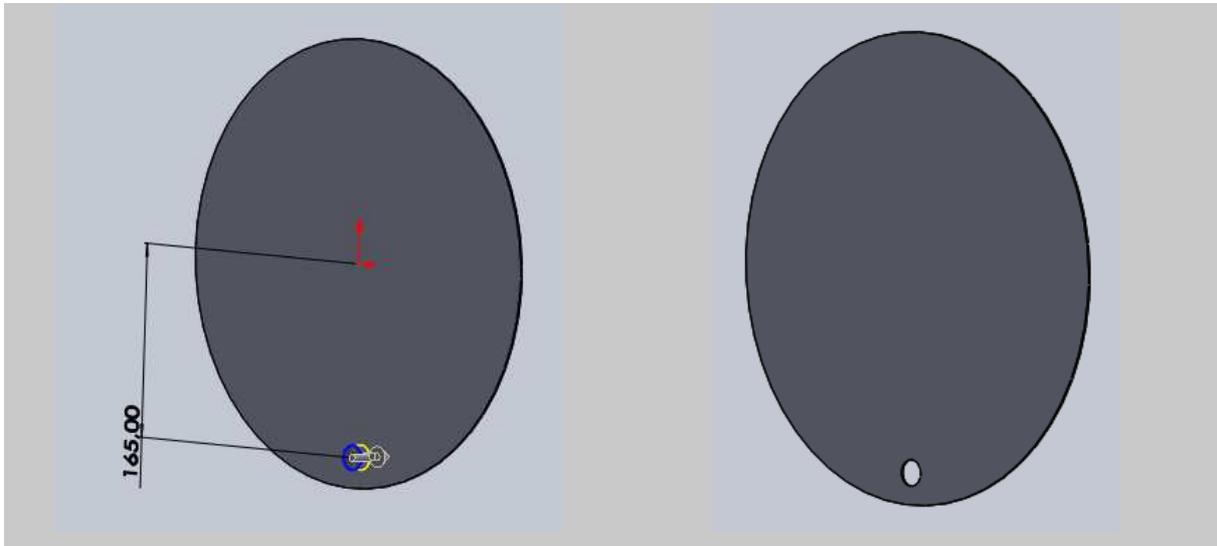


Figure III.24 : fond aluminium gauche modèle 03.

III.3.3.3 Ré conception de chicane de réservoir en aluminium : pour les trois modèles des réservoirs en aluminium nous avons conception 1 seul modèle de chicane.

$\acute{E}p=1.5\text{mm}$; $D=379\text{mm}$; $L=30\text{mm}$; plat

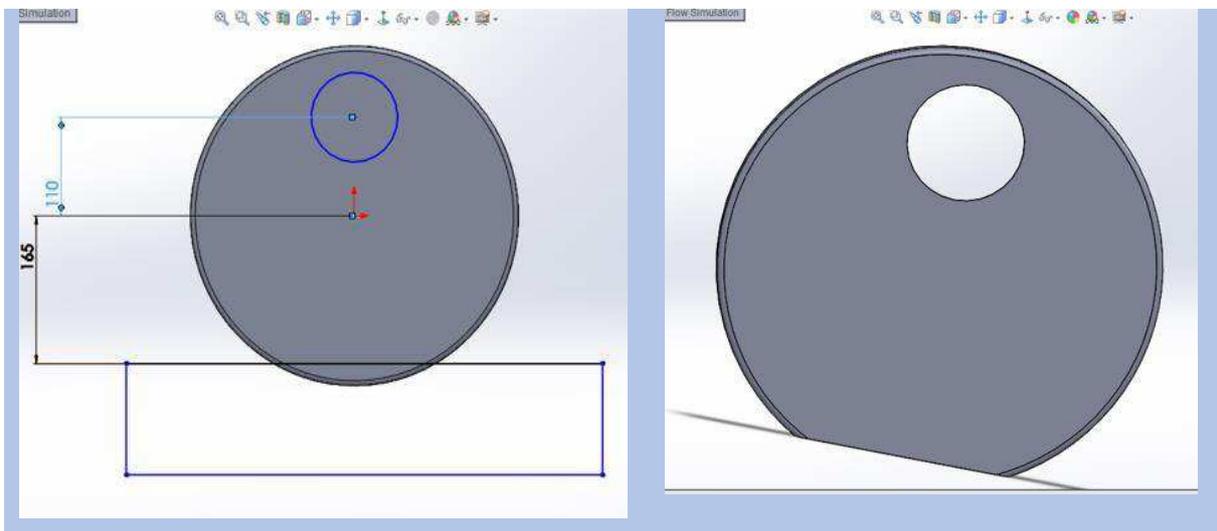


Figure III.25 : Conception de chicane de réservoir en aluminium.

III.3.4 Ré conception de corps de réservoir en aluminium :

Dans le cas de réservoir en acier, le corps est une tôle roulée (cintré) et soudé par molette, mais l'aluminium doit être soudé à l'arc avec procédé **Tig** ou **Mig et** fabriqué avec la même technique comme l'acier, donc nous allons modifier la conception de corps des trois nouveaux modèles pour adapter à la technique d'assemblage.

$D=382mm$; $L=790mm$; $ép=1.5mm$

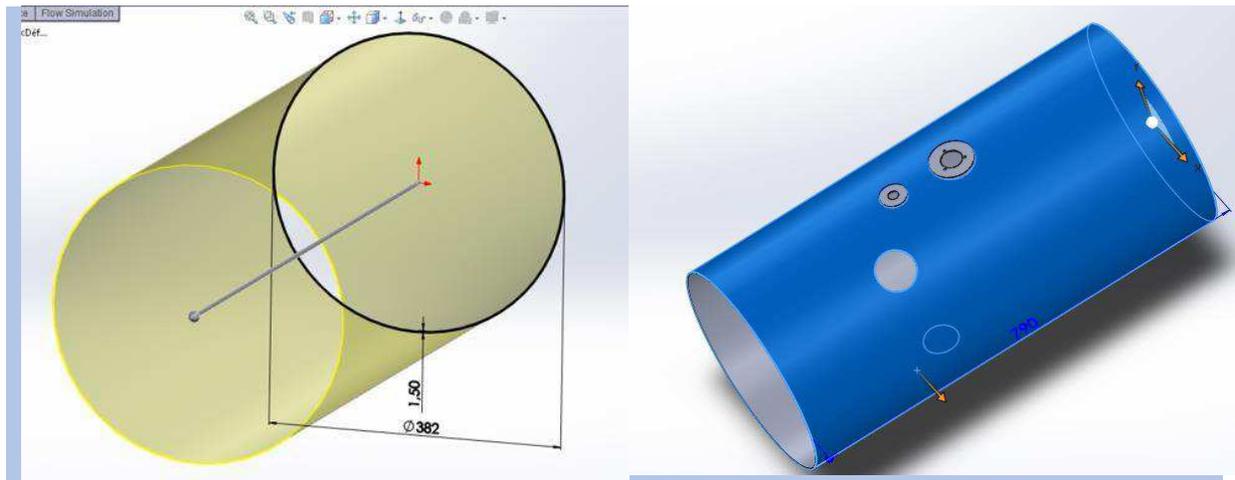


Figure III.26 : Conception de corps des réservoirs en aluminium.

III.3.5 L'assemblage des éléments des modèles de réservoir en aluminium :

III.3.5.1 L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 1^{er} modèle :

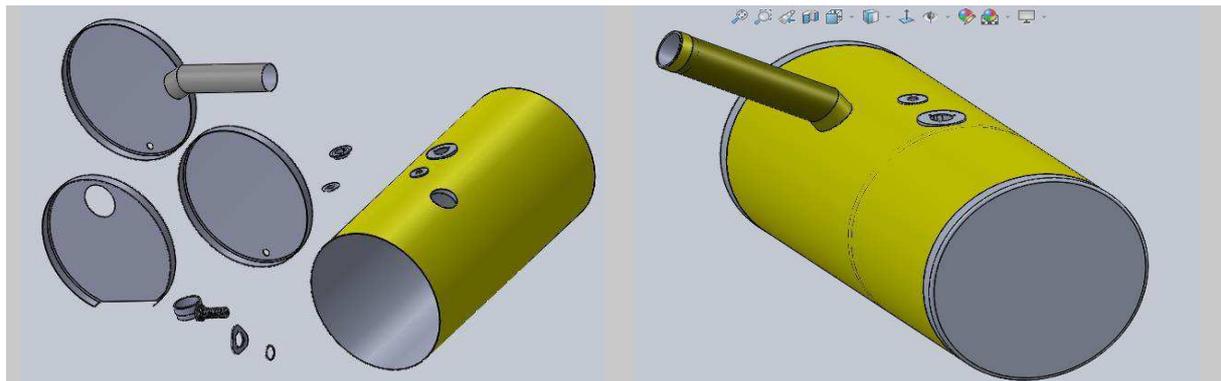


Figure III.27 : L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 1^{er} modèle.

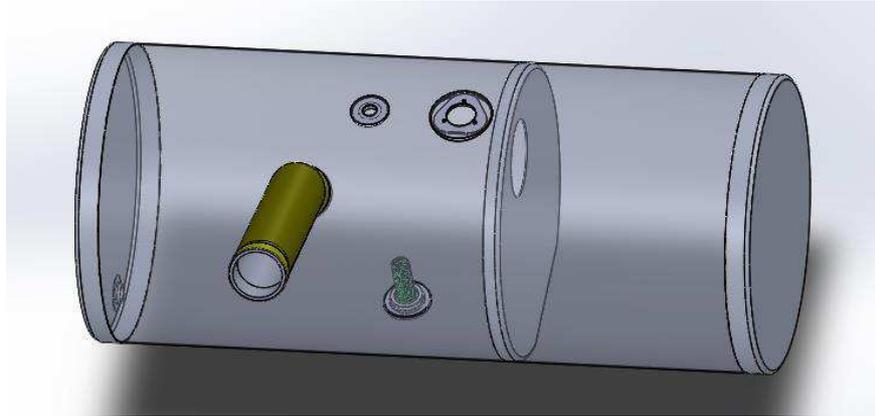


Figure III.28 : Vue à l'intérieur de réservoir en aluminium 1^{er} modèle.

III.3.5.2 L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 2^{ème} modèle : dans ce 2^{ème} modèle les fonds sont d'une forme sphérique.

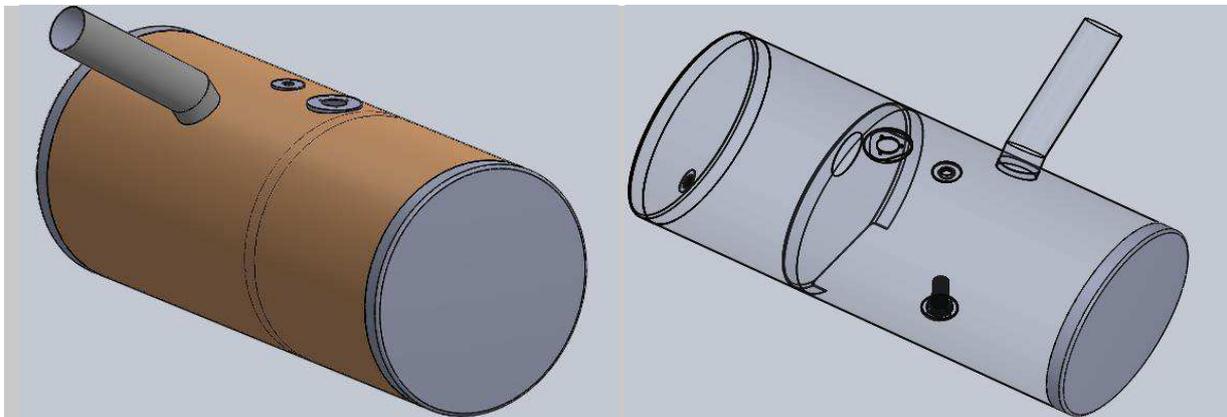


Figure III.29 : L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium modèle 02.

III.3.5.1 L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium 3^{ème} modèle :

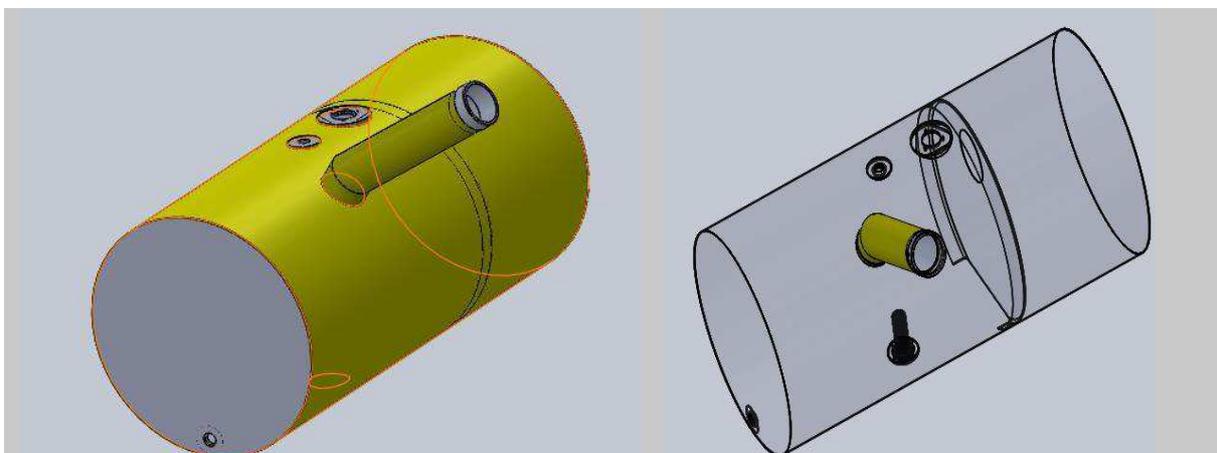


Figure III.30 : L'assemblage des éléments de réservoir en aluminium modèle 03.

III.4 Conception des deux supports :

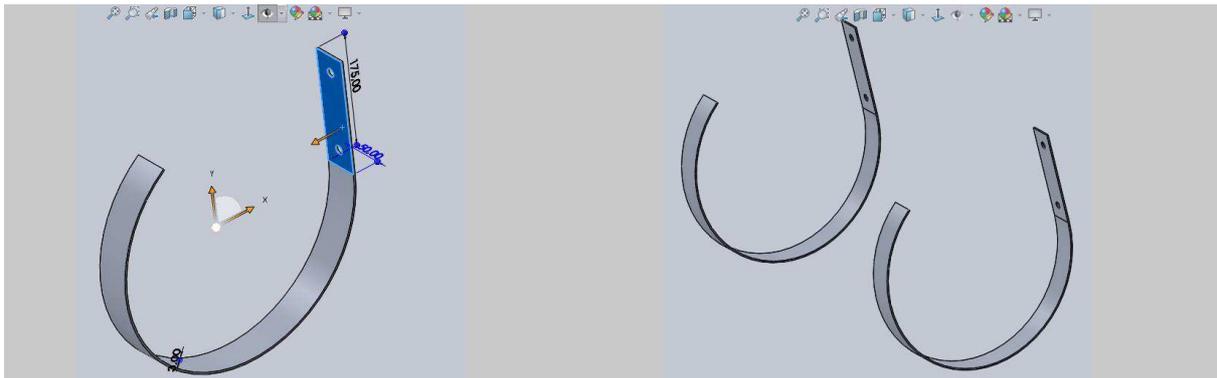


Figure III.31 : Conception des deux supports.

III.5 Conception de Cadre Châssis du autobus « Alssalama » (25L4) :

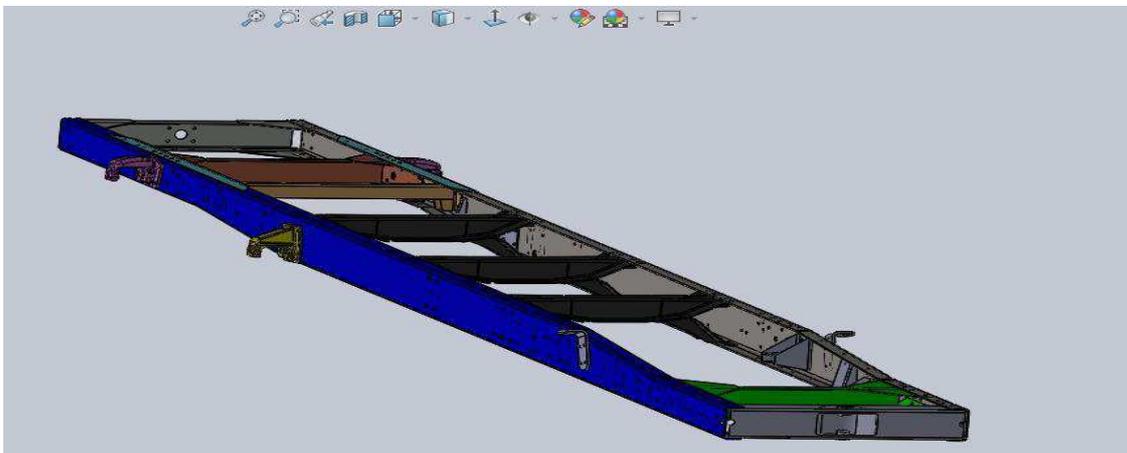


Figure III.32 : Cadre Châssis de l'autobus « Alssalama » (25L4).

III.6 Montage de réservoir avec le cadre châssis :



Figure III.33 :L'emplacement de réservoir dans l'autobus « Assalama ».

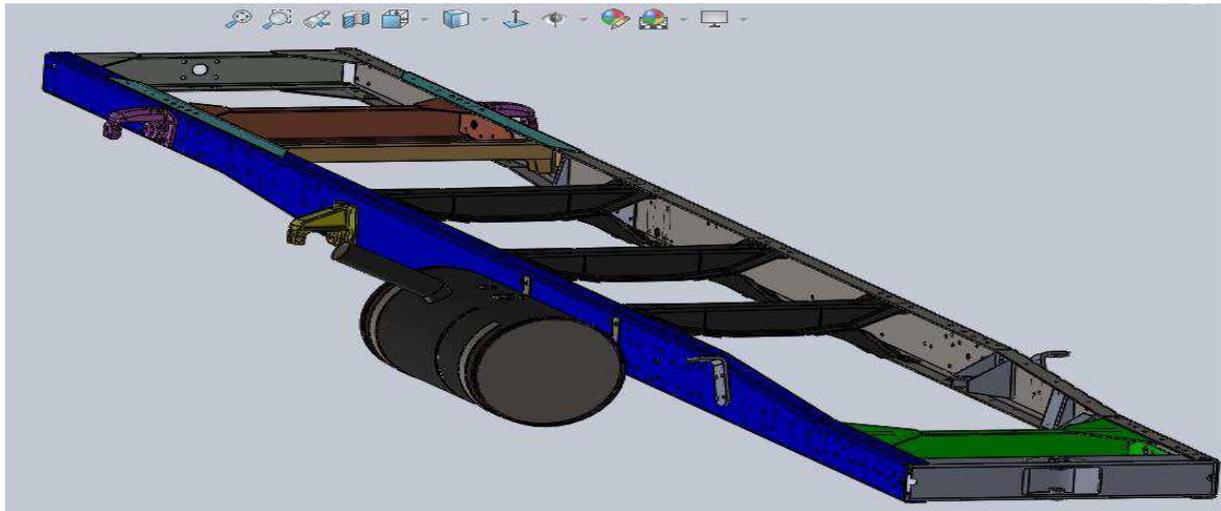


Figure III.34 : l'assemblage de réservoir avec les supports et le châssis.

III.7 Conclusion

Dans ce domaine on a refait la conception et l'assemblage des éléments du réservoir cela est fabriqué en acier et on a conception né trois nouveaux modèles de réservoir en aluminium par l'utilisation de logiciel SOLIDWORK suivant la forme du réservoir en acier avec d'autre changements sur les fond ,corps et le chicane . C'est à cause de notre changement de technologie de soudage pour le nouveau réservoir et aussi pour gagner du temps.

CHAPITRE III

Conception et ré conception de réservoir
combustible

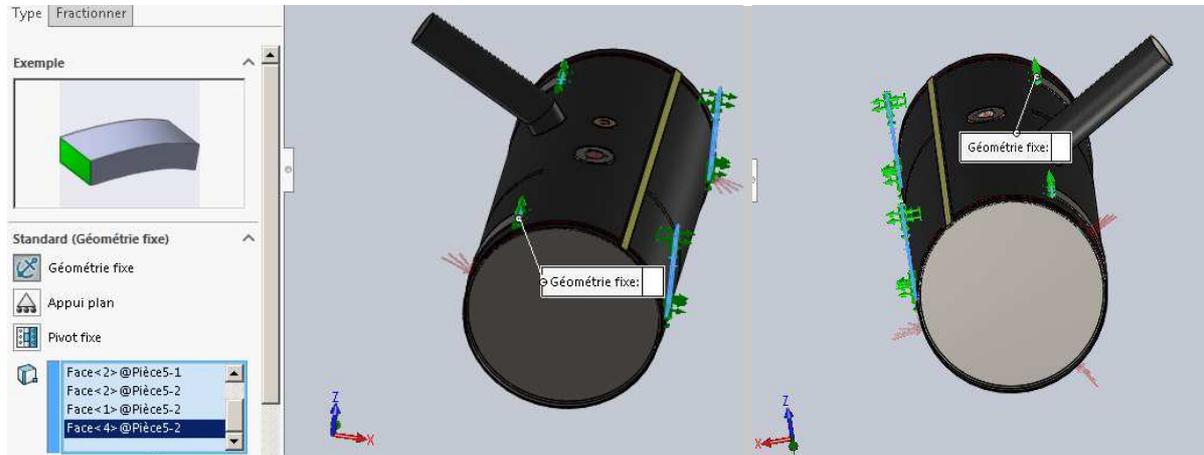
CHAPITRE IV

Simulation et comparaison des deux réservoirs

IV.1 Simulation de réservoir en acier Réf N°1143617 :

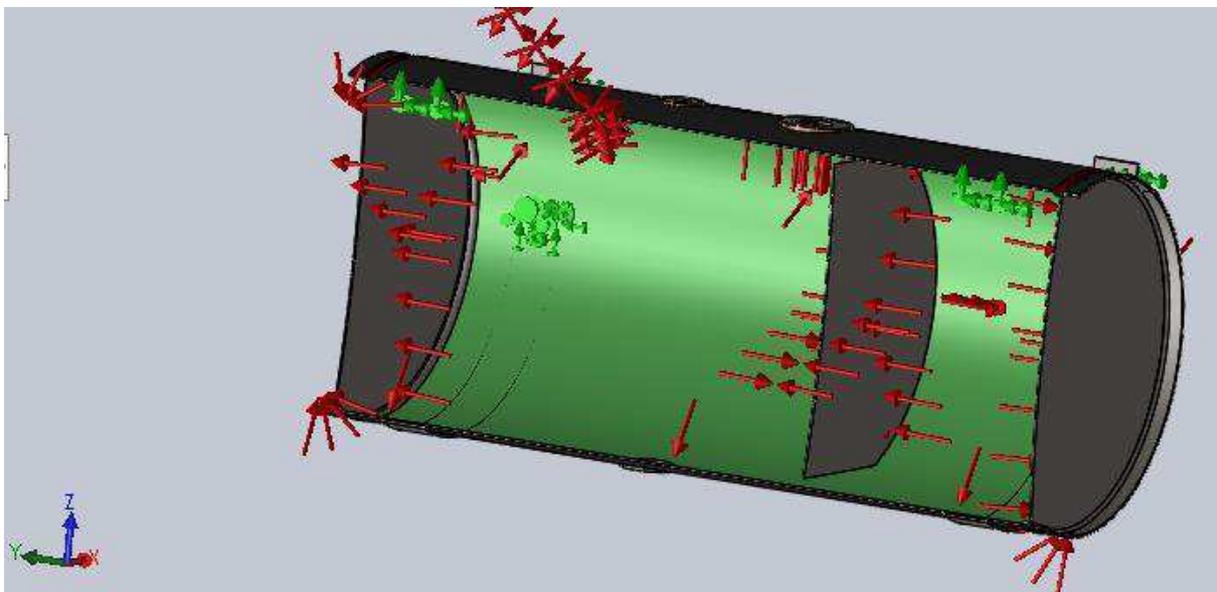
IV.1.1 Les condition aux limites :

- Les deux supports sont des géométries fixes.



FigureIV.1 : condition aux limites, géométries fixes.

- Il a été prouvé que le réservoir supportait une force de pression de **0,3 bar**, ce que nous avons trouvé dans le dessin technique, sur lequel nous avons appliqué cette pression lors de simulations.



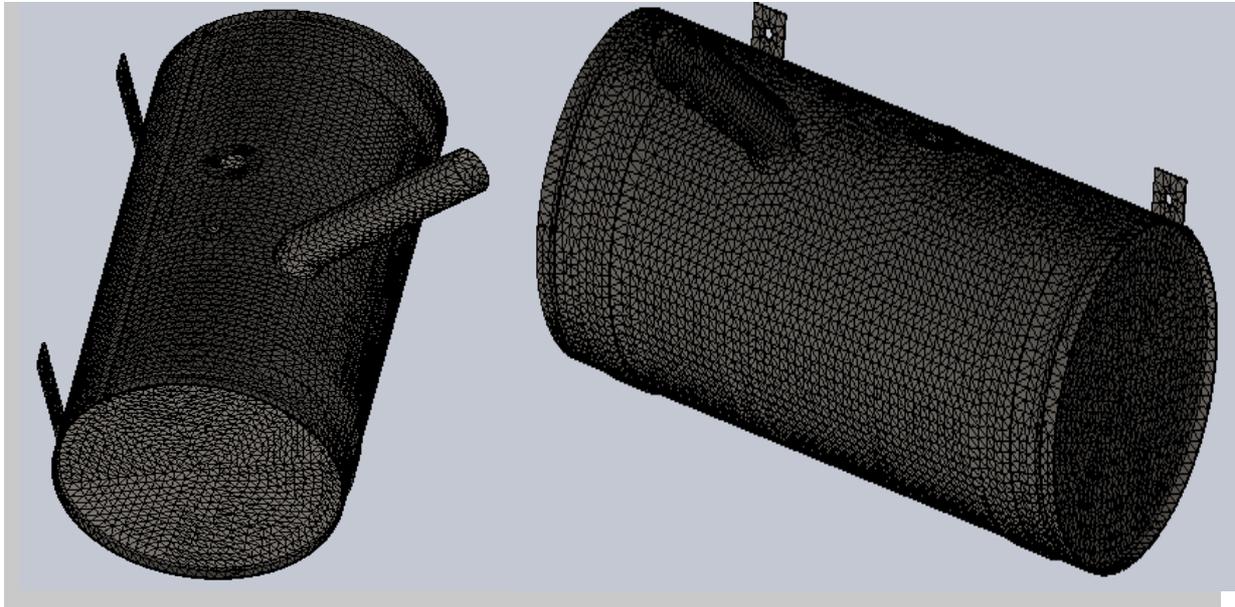
FigureIV.2 : condition aux limites l'intérieur de réservoir, P=0.03Mpa

- Les matériaux des différents éléments est :

Le métal utilisé pour le corps, les fonds et le chicane est une tôle « TC » d'acier doux suivant la norme NF 36.401 ; $R_e = 280\text{Mpa}$, l'équivalent de cette matière dans solidework c'est l'acier1023 tôle d'acier au carbone $R_e \approx 280\text{Mpa}$.

IV.1.2 Le maillage :

- **Type de maillage** : volumique triangulaire
- **Taille de maillage** : taille globale =13mm, tolérance = 0.65mm.



FigureIV.3 : Maillage volumique.

IV.1.3 Les résultat de simulation de réservoir en acier :

IV.1.3.1 contraint Von Mises :

- **Contraint max =127,1 Mpa** appliqué sur les fonds.

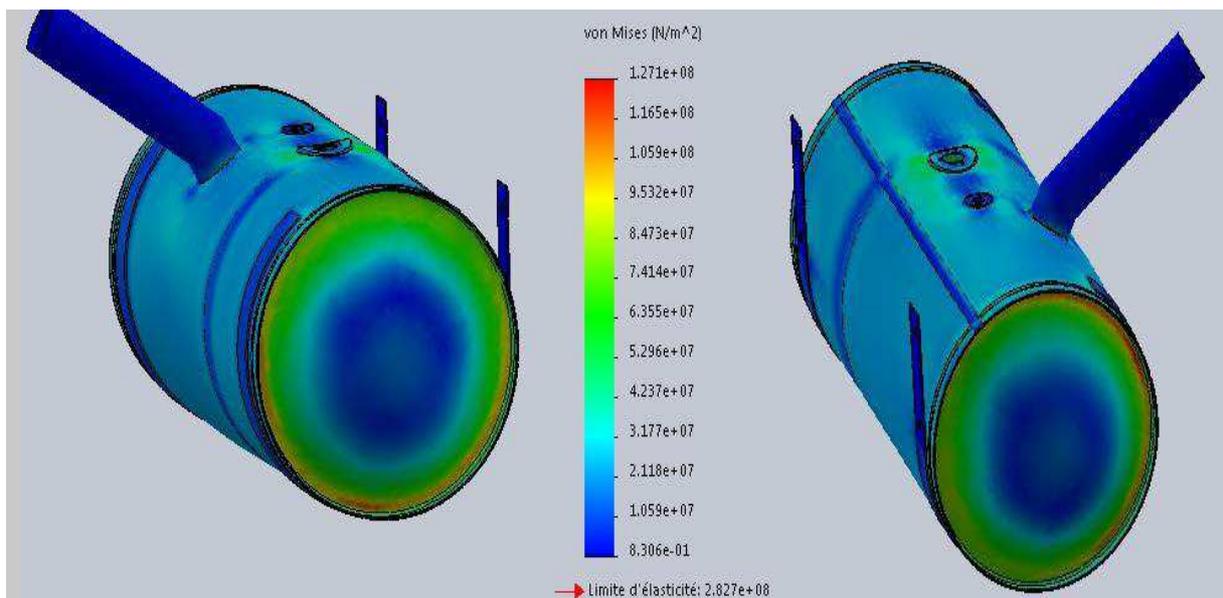


Figure IV.4 : Répartition des contraint Von Mises.

IV.1.3.2 Les déplacements :

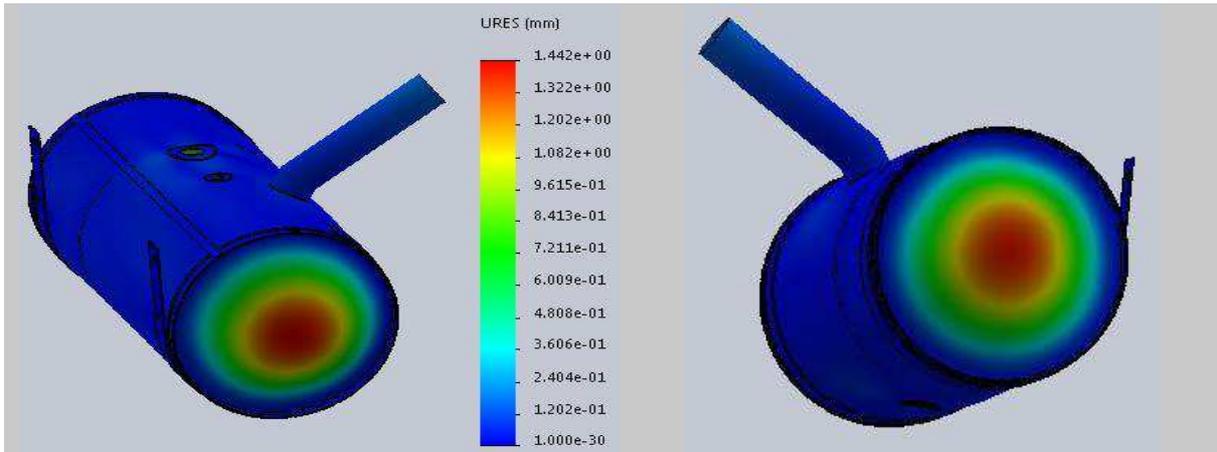


Figure IV.5 : Répartition des déplacements.

IV.1.3.3 Les déformation :

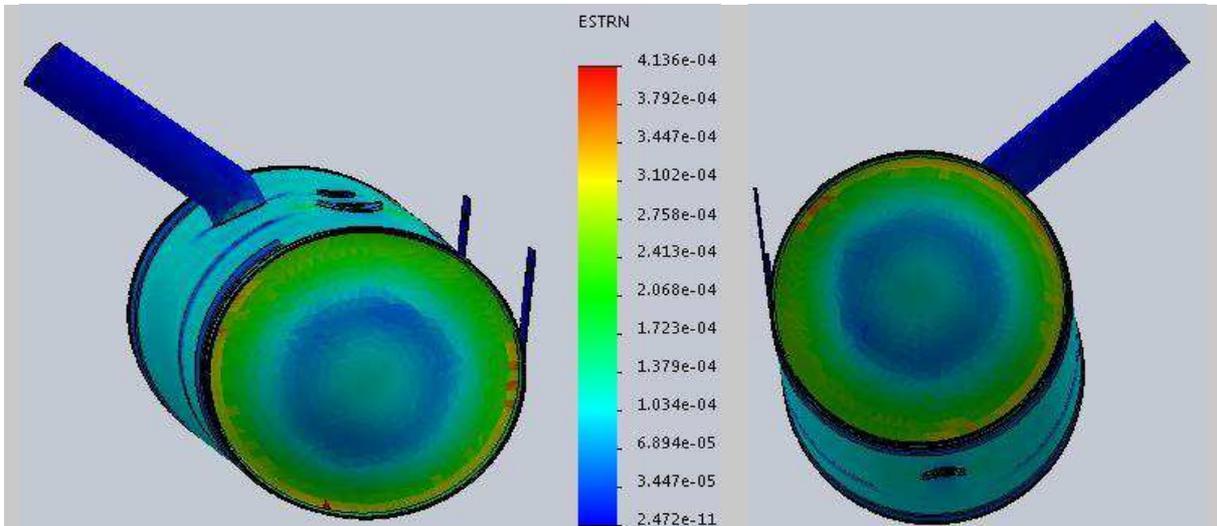


Figure IV.6 : Répartition des déformations.

IV.1.4 Interprétation des résultats :

■ **Limite élastique =280 Mpa**

Tableau IV.1 : Résultat maximal de simulation de réservoir en acier.

	Résultat	Zone critique
Contraint Von Mises	Max = 127,1 Mpa	Les bords des deux fonds
Déplacement	Max = 1.442 mm	Le centre des fonds
déformation	Max = 0.0004136	Les bords des deux fonds

- Nous avons remarqué que les contraintes et les déformations se situent en grande partie sur les bords des fonds, mais pour le déplacement, nous avons remarqué qu'il se trouvait au centre du fond.

IV.2 Simulation réservoir d'aluminium 1^{er} modèle :

IV.2.1 Les condition aux limites : les mêmes avec le cas d'acier.

- Les deux supports sont des géométries fixes.

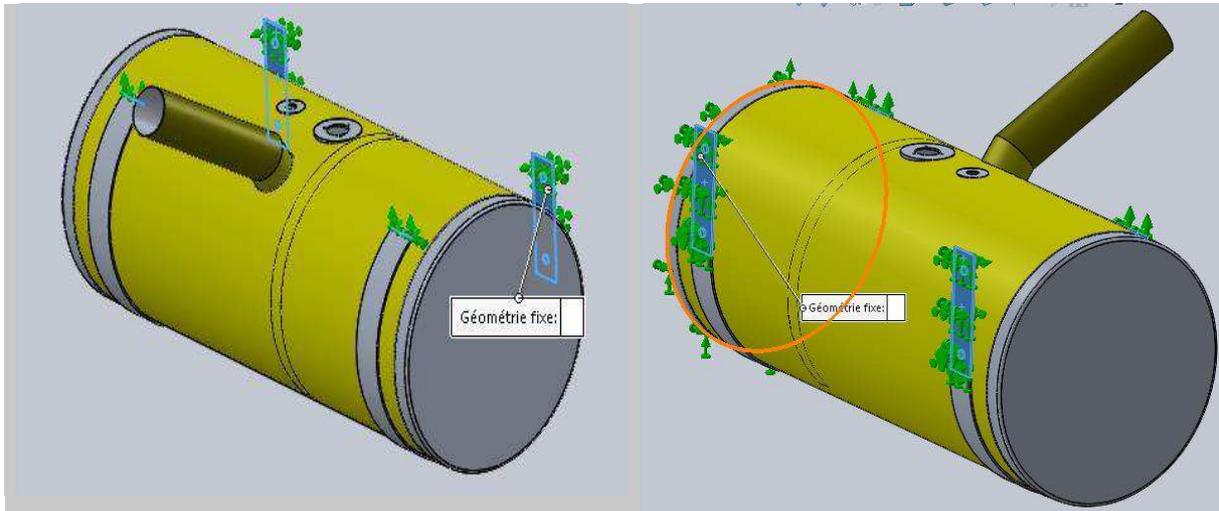


Figure IV.7 : Condition aux limites, géométries fixes.

- Nous avons appliqué la même pression sur les surfaces intérieures du réservoir que dans le cas de l'acier $P=0.03\text{Mpa}$.

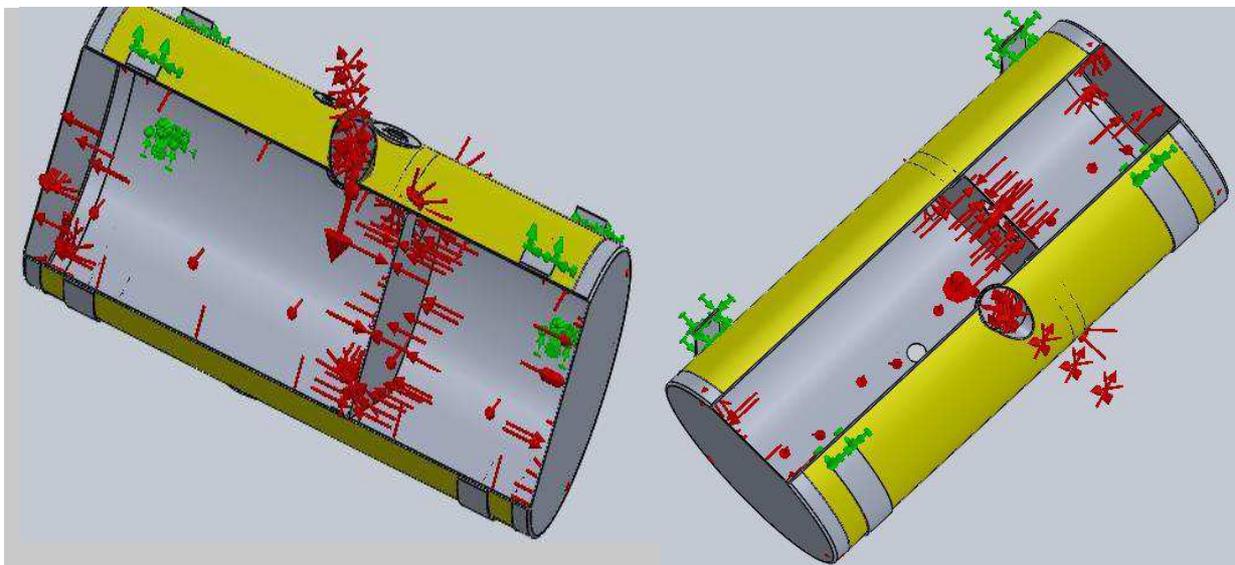


Figure IV.8 : Condition aux limites l'intérieur de réservoir, $P=0.03\text{Mpa}$.

IV.2.2 Le maillage :

- Type de maillage : volumique triangulaire
- Taille de maillage : taille globale = 13mm, tolérance = 0.65mm.

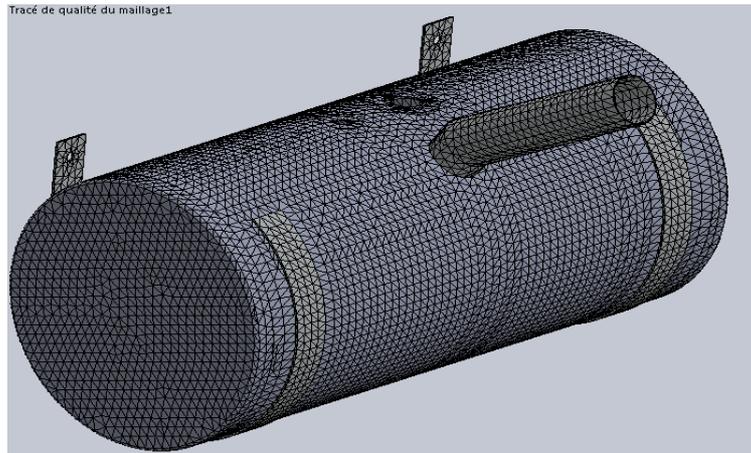


Figure IV.9 : Maillage volumique.

IV.2.3 Les résultats de simulation :

IV.2.3.1 Contraint Von Mises :

■ Contraint max = 284.5 Mpa appliqué sur les bords et le centre des deux fonds.

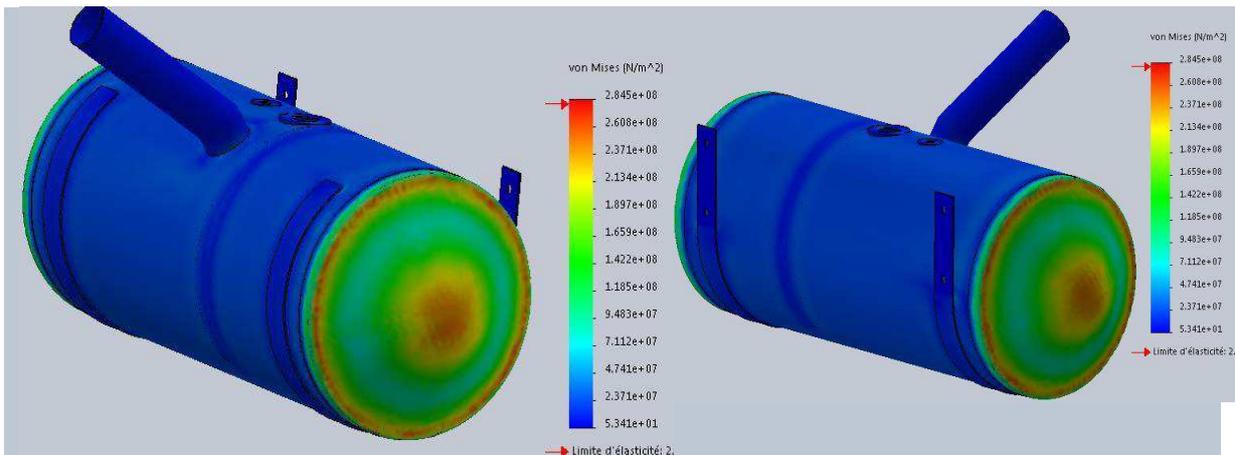


Figure IV.10 : Répartition des contraint Von Mises.

IV.2.3.2 : Les déplacements

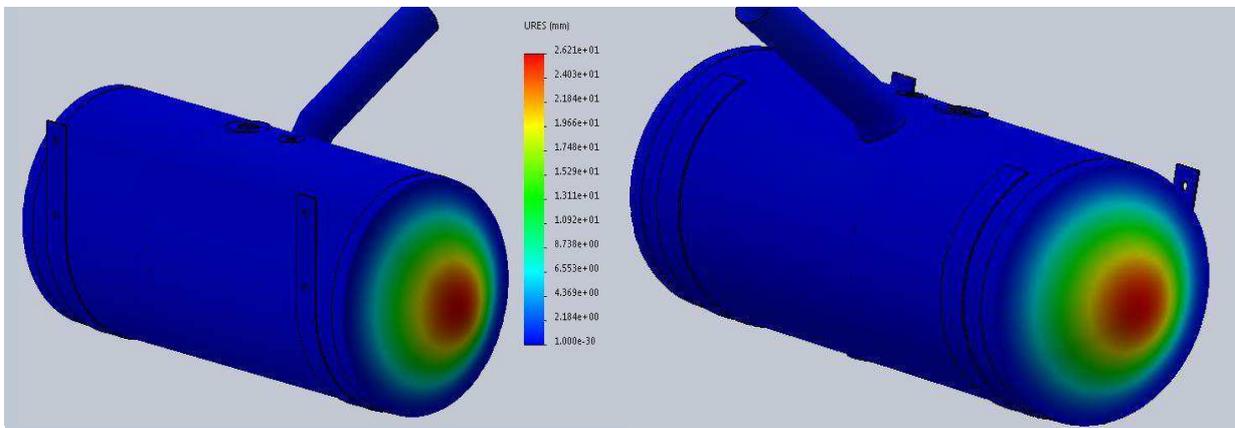


Figure IV.11 : Répartition des déplacements.

IV.2.3.3 : Les déformations

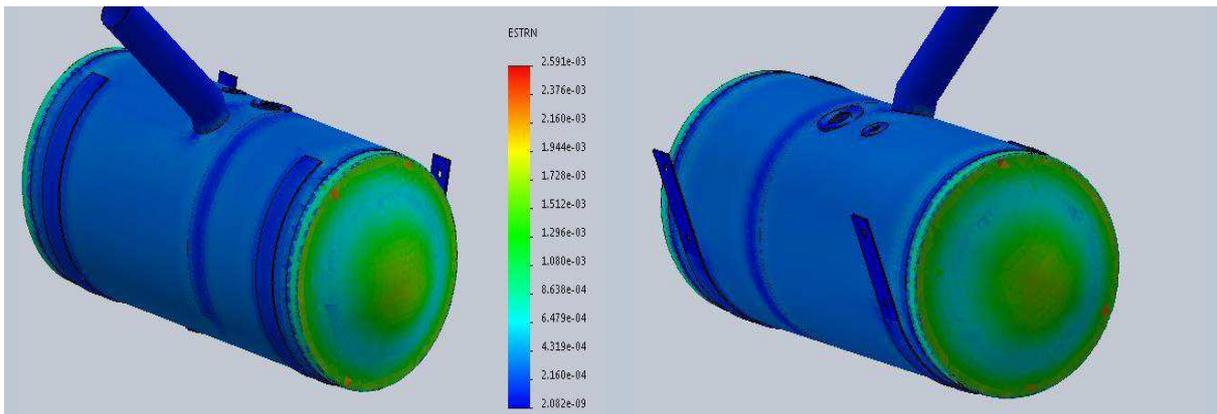


Figure IV.12 : Répartition des déformations.

IV.2.4 Interprétation des résultats :

■ Limite élastique = 280 Mpa

Tableau IV.2 : Résultat maximal de simulation de modèle 01.

	Résultat	Zone critique
Contraint Von Mises	Max = 284.5 Mpa	Les bords, le centre des fonds
Déplacement	Max = 26.21 mm	Le centre des fonds
Déformation	Max = 0.002951	Les bords et le centre des deux fonds

- Nous avons remarqué dans ce premier modèle que la valeur des contraintes dépassait la limite élastique.

IV.3 Simulation réservoir en aluminium 2^{ème} modèle :

IV.3.1 Les conditions aux limites : les mêmes avec le cas d'acier.

- Les deux supports sont des géométries fixes.

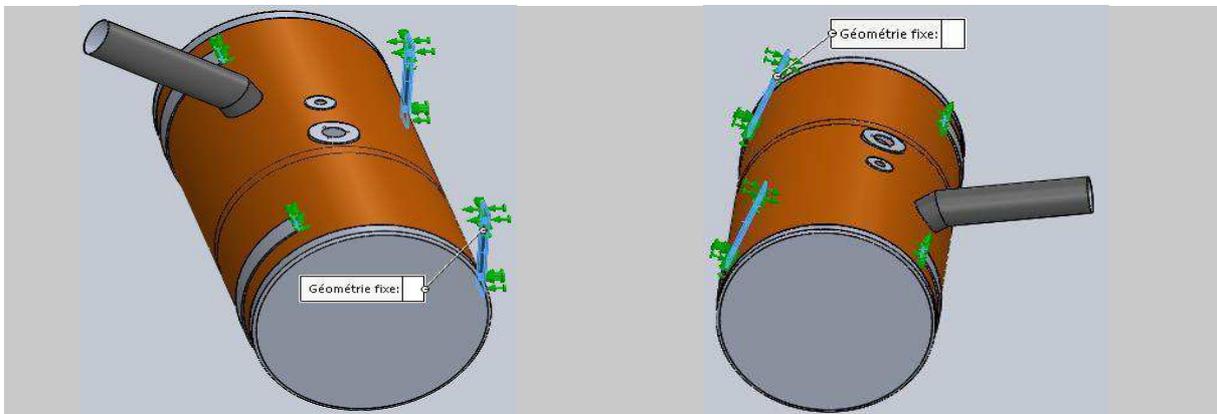


Figure IV.13 : Condition aux limites, géométries fixes.

- Nous avons appliqué la même pression sur les surfaces intérieures du réservoir que dans le cas de l'acier $P=0.03\text{Mpa}$ et la gravité.

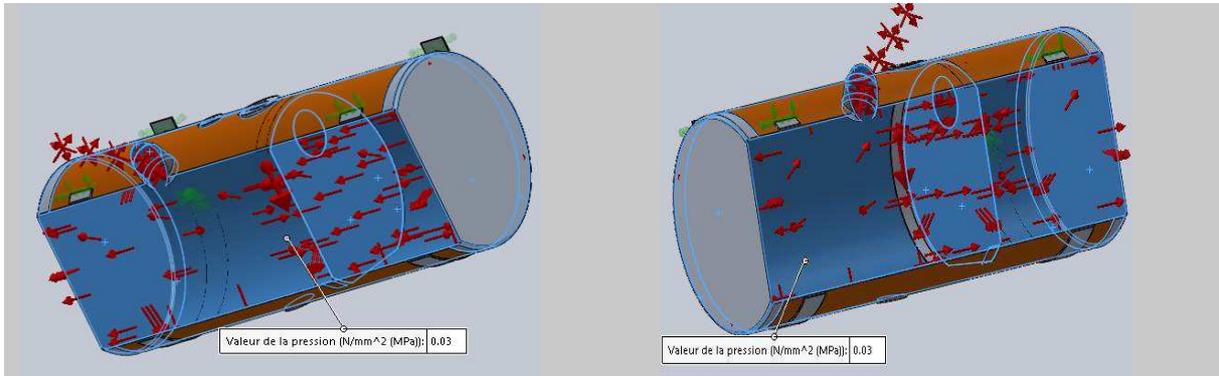


Figure IV.14 : Condition aux limites l'intérieur de réservoir, $P=0.03\text{Mpa}$.

IV.3.2 Le maillage :

- Type de maillage : volumique triangulaire
- Taille de maillage : taille globale = 13mm , tolérance = 0.65mm .

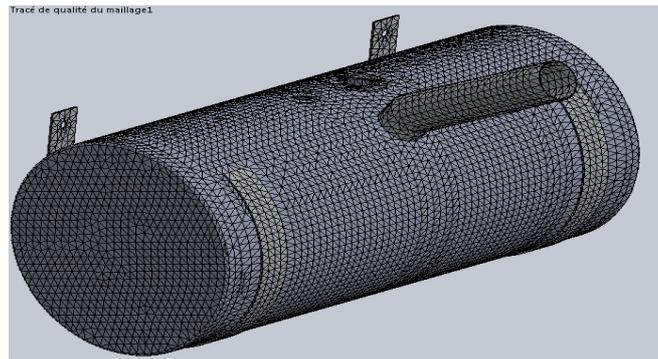


Figure IV.15 : Maillage volumique.

IV.3.3 Les résultats de simulation :

IV.3.3.1 Contraint Von Mises :

- Contraint max = 146.1Mpa appliqué sur les bords et le centre des deux fonds.

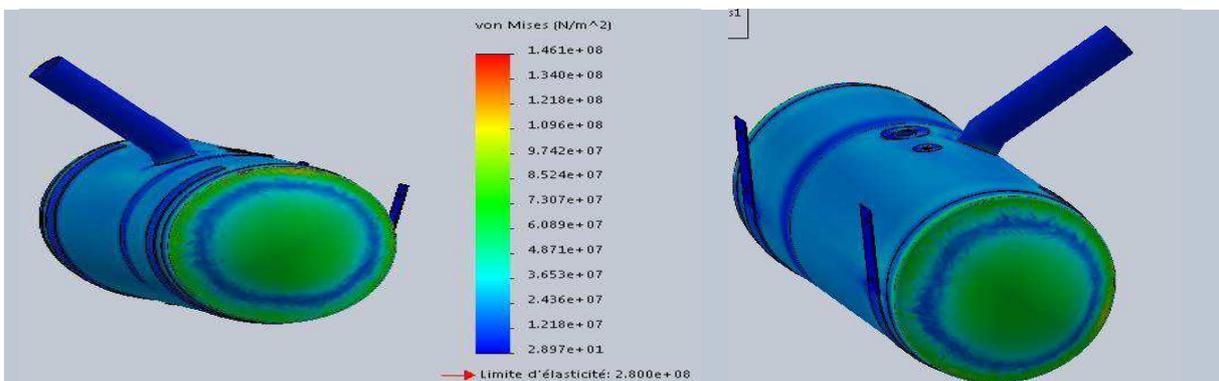


Figure IV.16 : Répartition des contraint Von Mises.

IV.3.3.2 : Les déplacements

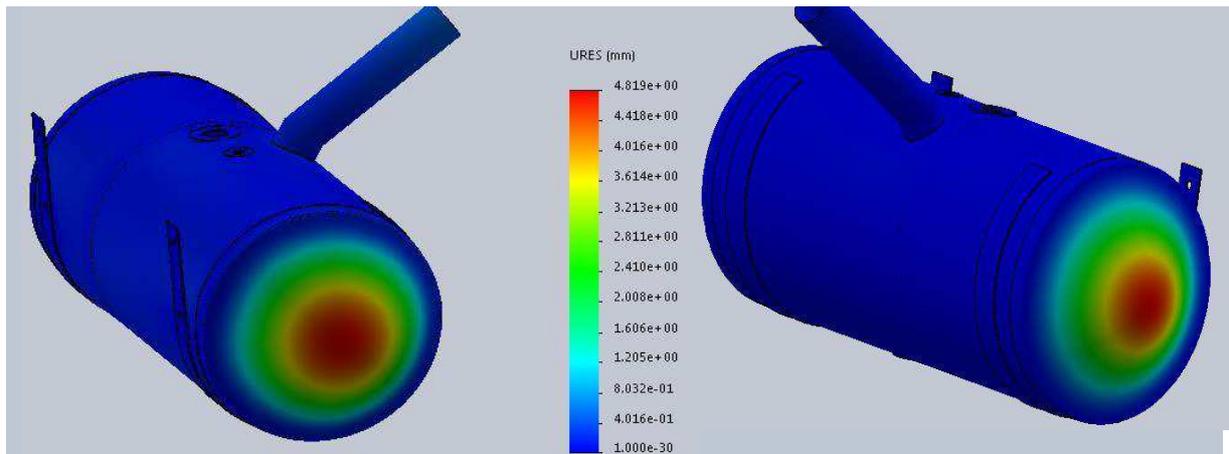


Figure IV.17 : Répartition des déplacements.

IV.3.3.3 : Les déformations

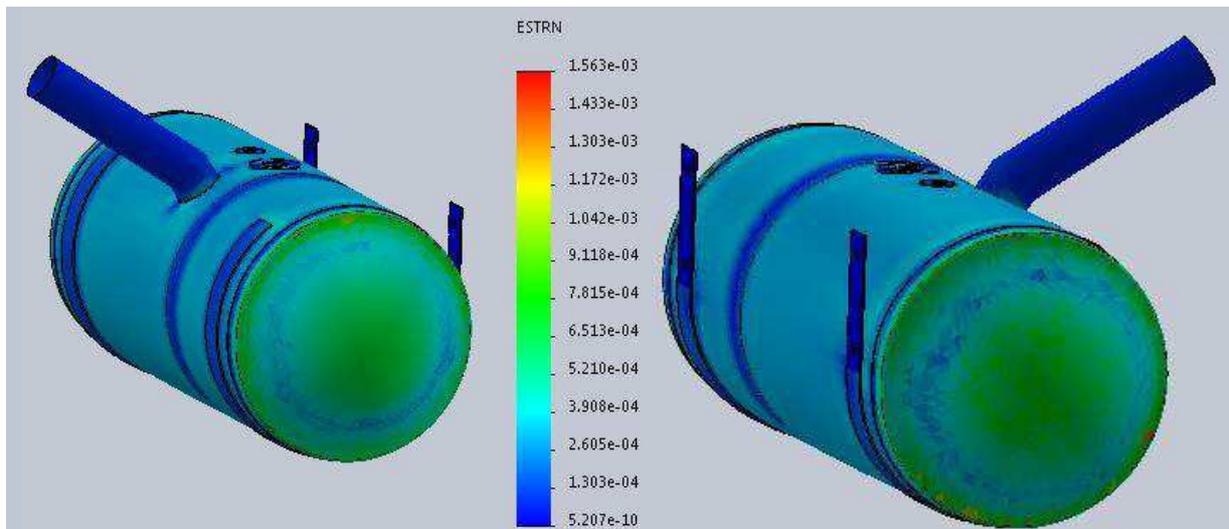


Figure IV.18 : Répartition des déformations.

IV.3.4 Interprétation des résultats :

■ Limite élastique = 280 Mpa

Tableau IV.3 : Résultat maximal de simulation de modèle 02.

	Résultat	Zone critique
Contraint Von Mises	Max = 146,1 Mpa	Les bords des fonds
Déplacement	Max = 4,819mm	Le centre des fonds
Déformation	Max = 0.001563	Les bords et le centre des deux fonds

- Nous avons observé dans ce deuxième modèle que la force est à peu près similaire à la force dans le réservoir de carburant en acier.

IV.4 Simulation réservoir d'aluminium 3^{ème} modèle :

IV.4.1 Les condition aux limites : les mêmes avec le cas d'acier.

- Les deux supports sont des géométries fixes.

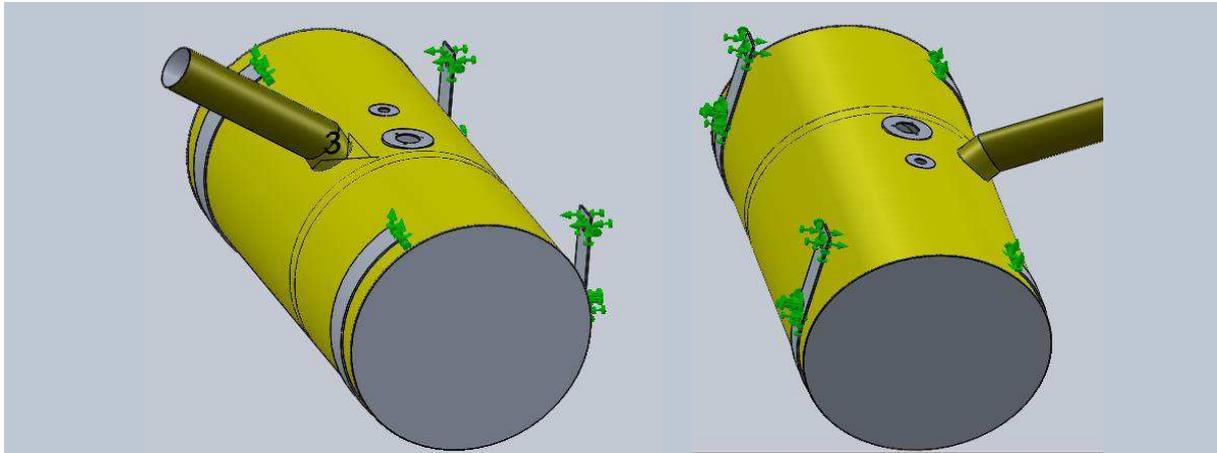


Figure IV.19 : Condition aux limites, géométries fixes.

- Chargement externe : $P = 0.03 \text{ Mpa}$.

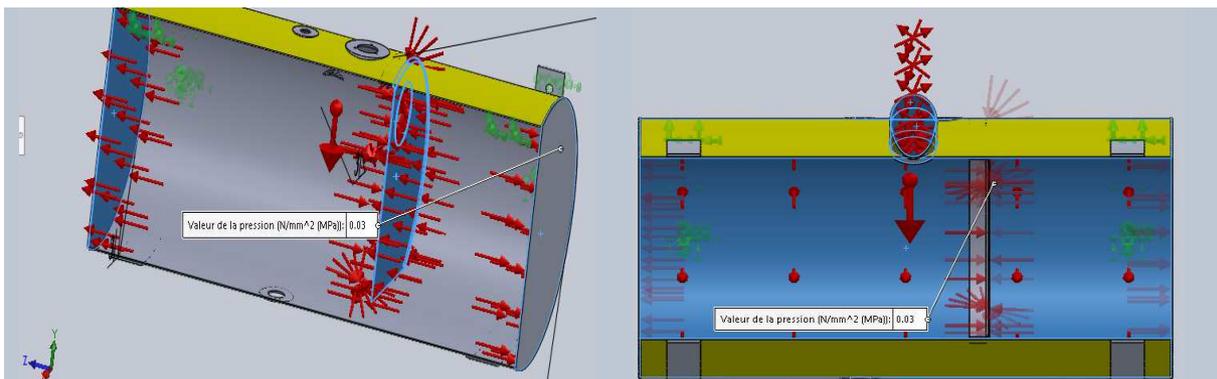


Figure IV.20 : Condition aux limites l'intérieur de réservoir, $P = 0.03 \text{ Mpa}$.

IV.4.2 Le maillage :

- Type de maillage : volumique triangulaire.
- Taille de maillage : taille globale = 13mm, tolérance = 0.65mm.

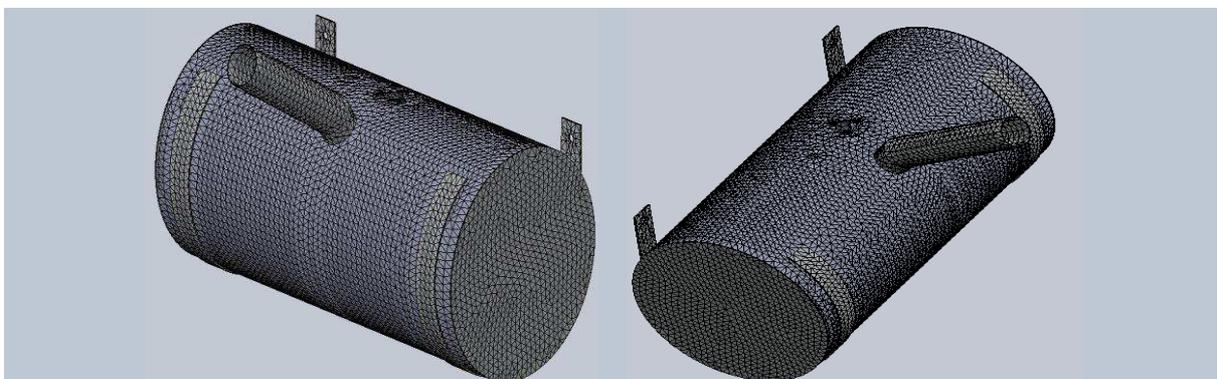


Figure IV.21 : Maillage volumique.

IV.4.3 Les résultats de simulation :

IV.4.3.1 Contraint Von Mises :

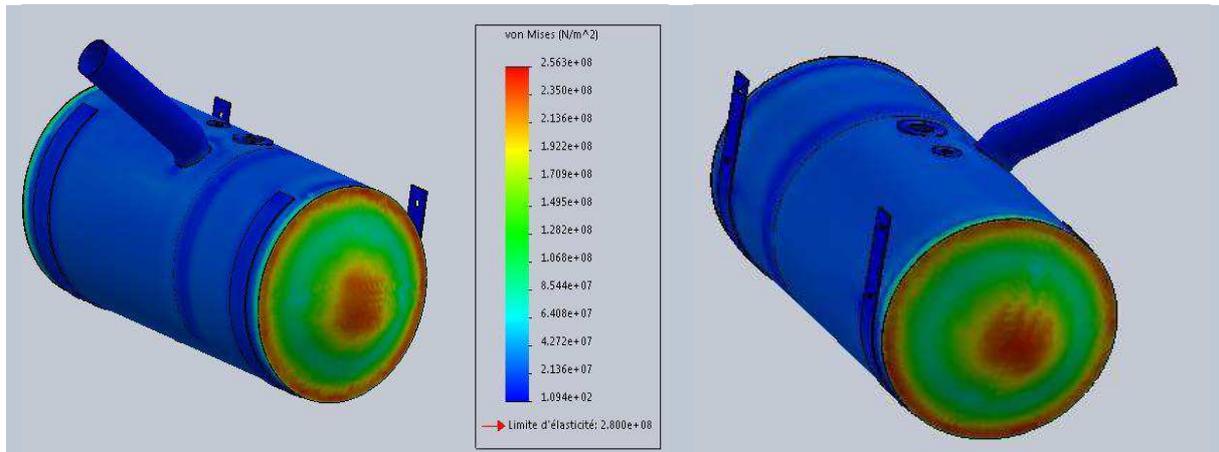


Figure IV.22 : Répartition des contraintes Von Mises.

■ Contraint max = 256.3 Mpa appliqué sur les bords et le centre des deux fonds.

IV.4.3.2 : Les déplacements

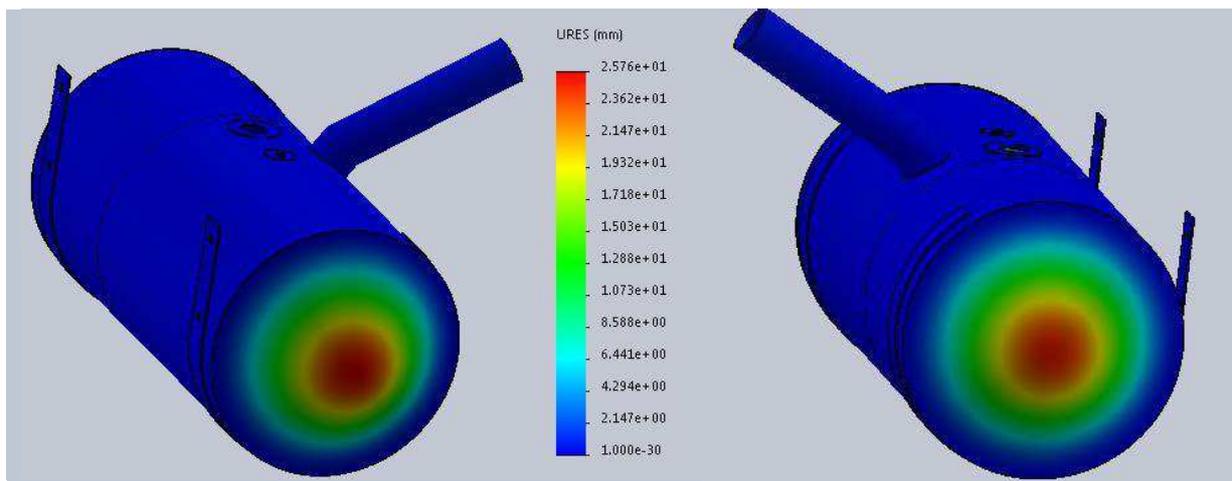


Figure IV.23 : Répartition des déplacements.

IV.4.3.3 : Les déformations :

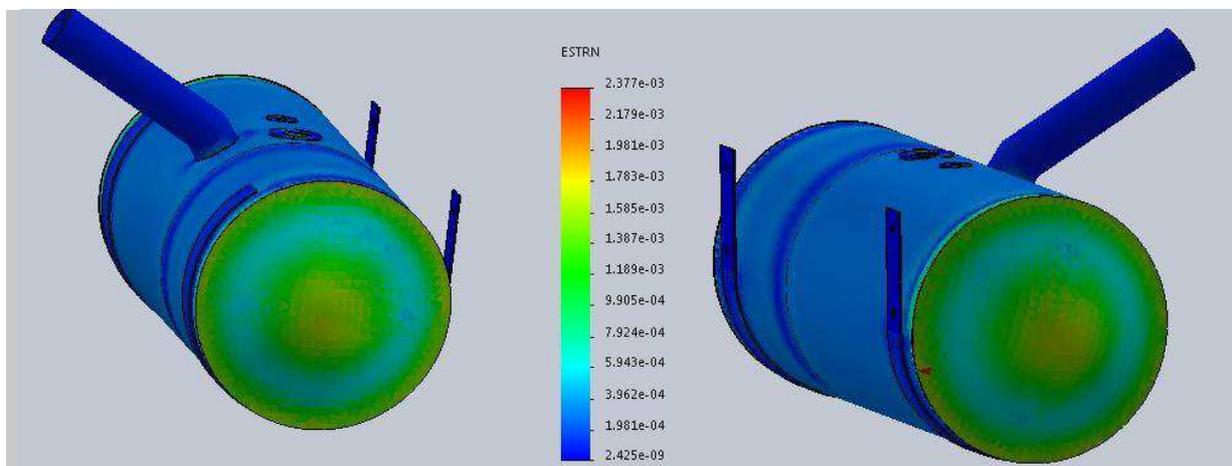


Figure IV.24 : Répartition des déformations.

IV.4.4 Interprétation des résultats :

Tableau IV.4 : Résultat maximal de simulation de modèle 03.

	Résultat	Zone critique
Contrant Von Mises	Max = 256.3Mpa	Les bords et le centre des deux fonds
Déplacement	Max = 25.76 mm	Le centre des fonds
Déformation	Max = 0.002377	Les bords et le centre des deux fonds

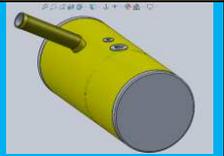
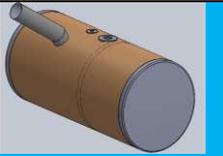
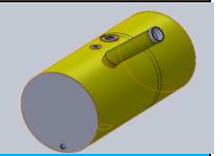
- Nous avons noté dans ce troisième modèle que la valeur de contrant n'a pas dépassé la limite élastique mais elles sont très hauts et proches d'eux.
- Dans ce troisième modèle, nous avons remarqué que les contrant se concentrent sur les bords du corps et du fond, ce qui rend la zone de soudure très affectée.

IV.5 Comparaison des nouveaux modèles avec le réservoir en acier :

Après avoir obtenu les résultats de la simulation pour le modèle original et les trois modèles en aluminium, nous avons effectué cette comparaison afin de choisir le modèle le plus approprié.

Les tableaux suivant montrent les différences les plus importantes entre les propriétés physiques et mécaniques de tous les modèles.

Tableau IV.5 : Résultat maximale de simulation des modèles de réservoir.

	Réservoir en acier	Réservoir_Alum 1 ^{er} modele	Réservoir_Alum 2 ^{eme} modele	Réservoir_Alum 3 ^{eme} modele
				
Contraint Von Mises (Mpa)	Max = 127,1	Max = 284.5	Max = 146,1	256.3
Déplacement (mm)	Max = 1.442	Max = 26.21	Max = 4,819	Max=25.76
déformation	Max=0.0004136	Max = 0.002951	Max = 0.001563	Max=0.00237

Comme mentionné ci-dessus, le deuxième modèle de réservoir de carburant en aluminium présente les mêmes propriétés mécaniques que le réservoir en acier. La figure suivante montre la différence de contrainte et déplacement entre tous les modèles.

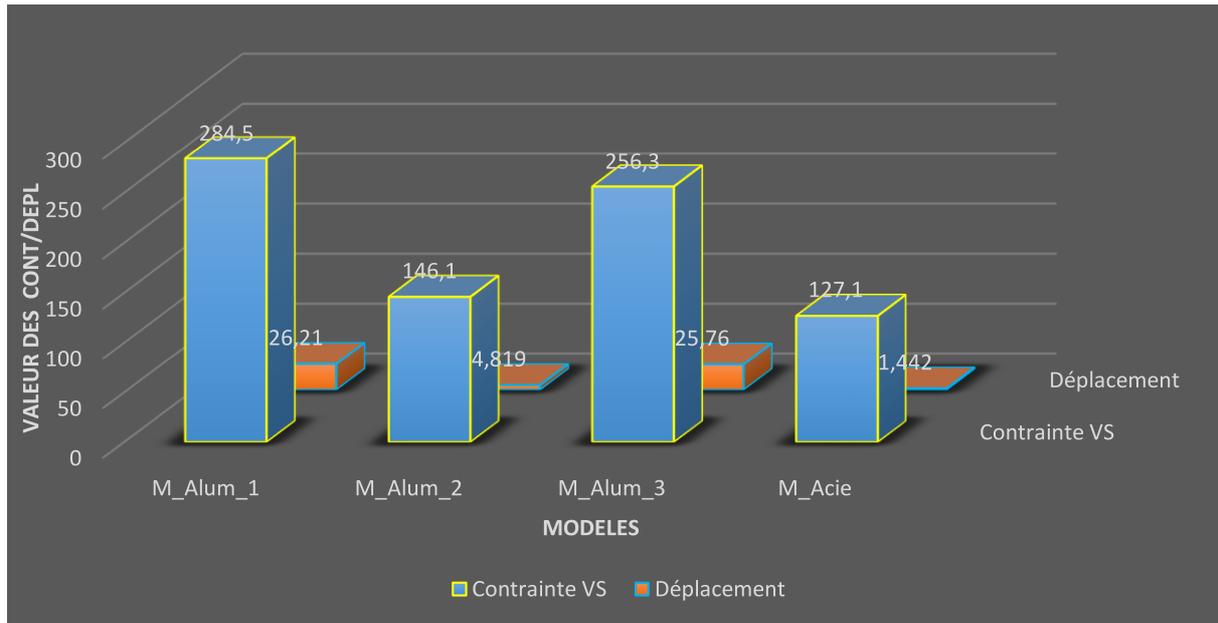
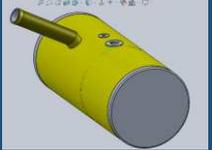
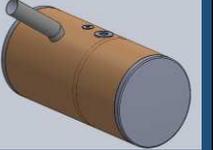
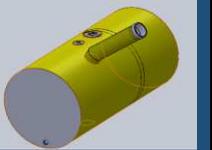


Figure IV.25 : Graphe de comparaison des contraint Von Mises et les déplacements.

Tableau IV.6 : Comparaison des en cial caractéristiques des modèles.

	Réservoir en acier	Réservoir_Alum 1 ^{er} modele	Réservoir_Alum 2 ^{eme} modele	Réservoir_Alum 3 ^{eme} modele
				
Matériau	Acier doux	Aluminium 5052	Aluminium 5052	Aluminium 5052
Épaisseur (mm)	1.5	1.5	1.5	1.5
Poids (Kg)	P (corps)= 11 P(chican)=1.32 P(2fond)= 3.15 P(embases)= 0.4 P(tube)= 0.8 P (totale)= 16.5	P (corps)= 3.9 P (chican)= 0.45 P (2fond)= 1.1 P(embases)= 0.2 P(tube)= 0.3 P (totale)= 6	P (corps)= 3.9 P(chican)=0.45 P(2fond)= 1.1 P (embas)= 0.2 P(tube)= 0.3 P (totale)= 6	P (corps)= 3.9 P (chican)=0.45 P (2fond)= 0.97 P (embas)=0.2 P (tube)= 0.3 P (totale)= 5.7
Volume gasoil(l)	90	90	90	90
Soudage	Par résistance Sans métal d'apport	À l'arc Mig/Tig Avec métal d'apport	À l'arc Mig/Tig Avec métal d'apport	À l'arc Mig/Tig Avec métal d'apport

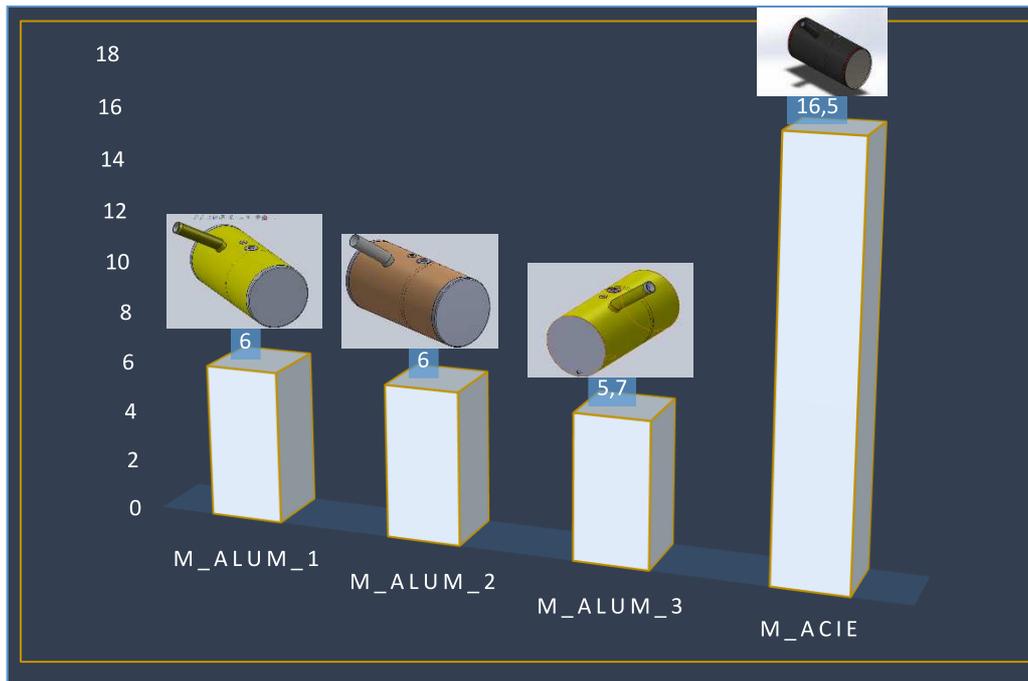


Figure IV.26 : Graphe de comparaison de poids des réservoirs.

IV.6 Conclusion

Dans ce domaine, nous avons appliqué les simulations de force appliquées dans les expériences à la fois au modèle original du réservoir et aux modèles des armoires en aluminium, puis nous avons évoqué les différentes caractéristiques physiques et technologiques des modèles afin d'examiner toutes les différences.

Nous concluons que le deuxième modèle de réservoir en alliage d'aluminium donne de bons résultats par rapport à un modèle en acier.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspective

Parmi les stratégies de la SNVI est d'améliorer le niveau technique de son véhicule industriel, en améliorant les organes et les solutions techniques, la conception mécanique est le domaine que fait concrétiser ces solutions par l'innovation et la rénovation.

La variété de ce travail nous a ouvert d'autres perspectives, telle que la conception assistée (CAO) sous SOLIDWORKS qui sont logiciels industriels, intégrés de plus en plus dans les entreprises à caractères productifs vu leurs caractéristiques et performances très appréciables.

Ce stage nous a permis d'améliorer beaucoup de connaissances dans le domaine de la conception mécanique.

Le but de notre mémoire était d'étudier et de reconcevoir d'un produit qui est un réservoir de carburant en acier et nous avons suggéré l'utilisation d'une alternative « l'aluminium ».

Nous avons pris toutes les étapes nécessaires pour la reconception, depuis les étapes de fabrication, d'assemblage et de conception de réservoir en acier.

En effet les connaissances théoriques et celles acquises pendant le stage pratique ont largement contribué à la mise au point de ce mémoire de fin d'étude.

L'aluminium constitue une bonne alternative à l'acier, car il résiste également à la même force appliquée, il résiste à la corrosion et à la rouille sous l'humidité, a un bel aspect et est moderne, ne nécessite pas de protection externe ou interne par peinture ou par huilage, Il peut être assemblé par soudage automatique pour accélérer la productivité, Il peut réduire les coûts de production car il n'exige pas une grande force de coupage ou de formage ni d'autres procédés tels que l'acier.

Enfin, nous suggérons de mener une étude économique pour obtenir toutes les données nécessaires afin de les fabriquer conformément aux principes de profits et pertes.

Bibliographies

Bibliographies

- [1]: <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/r%C3%A9servoir/fr-fr/> decm2018
- [2] : Norme NF36.401 désignation des aciers doux
- [3] : Norme NF36.401 désignation des aciers doux
- [4] : Norme NF36.401 désignation des aciers doux.
- [5], Alain CHABENAT et René MARTIN, ‘‘ Travail des métaux en feuilles Découpage. Poinçonnage’’, p 01-02.
- [6], Alain CHABENAT et René MARTIN, ‘‘ Travail des métaux en feuilles Découpage. Poinçonnage’’, p 02.
- [7] : Alain CHABENAT et René MARTIN, ‘‘ Travail des métaux en feuilles Découpage. Poinçonnage’’, p 02-03.
- [8] : lycée Henri Daras , Renseignements techniques , LE ROULAGE DES TÔLES ;p01.
- [9] : René MARTIN, Formage à la presse, p02.
- [10] KAHOUL Hafida, ‘‘MODÉLISATION DU COMPORTEMENT A LA DÉFORMATION ÉLASTIQUE DES TÔLES DE CONSTRUCTION AUTOMOBILE : INFLUENCE DES SINGULARITÉS’’, p.15-16.
- [11] : Roger DEVELAY, Propriétés de l’aluminium et des alliages d’aluminium corroyés, p.02-15.
- [12] : ROLAND CAZES, Procédés de soudage - Principes généraux et critères de choix, p.01
- [13] : ROLAND CAZES, Soudage à l'arc, p.02-16.
- [14] : ROLAND CAZES, Soudage par résistance, p.02-14.
- [15] : Lucien VIGNARDET, Soudage à la flamme, p.01
- [16] : Lucien VIGNARDET, Soudage à la flamme, p.03.
- [17] : Lucien VIGNARDET, Soudage à la flamme, p.04-05.
- [18] : ROLAND CAZES, Procédés de soudage - Principes généraux et critères de choix, p.03-05.
- [19] : Roger DEVELAY, Propriétés technologiques de l’aluminium et ses alliages corroyés ; p.06.
- [20] : Roger DEVELAY, Propriétés technologiques de l’aluminium et ses alliages corroyés ; p.07.
- [21] : Pechiney, Le soudage oxyacétylénique. Notice Aluminium.
- [22] : Pechiney, Le soudage par résistance. Notice Aluminium.

Bibliographies

[23] : Jean Louis FANCHON : Guide des sciences et technologies industrielles ; AFNOR /Nathan (2001).

[24]. M. BOIVIN, "Prévision du retour élastique lors du pliage des tôles", Physique et Mécanique de la Mise en Forme des Métaux, 2ème partie, Chapitre 2, Presses du C.N.R.S., Paris, 1990, p.471-480

[25] : Bernard YANNOU et Mounib MEKHILEF, Document technique de l'ingénieur - Conception intégrée assistée par ordinateurbm5006.

[26] : www.solidworks.fr//septembre 2018