



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Laboratoire de d'Etude et de Recherche en Technologie Industrielle

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Construction Mécanique et Fabrication Mécanique et productique

Titre
ETUDE ET CONCEPTION D'UNE CUVE SOUS PRESSION

Proposé et encadré par :
Pr. ALLALI Abederrazak
Dr. SARI El kahina

Réalisé par :
EL MEHDI HEDJELA Fatma
Zohra
CHERFA Salima

Année universitaire 2019/2020

À FORCE D'ÊTRE POUSSÉE AU BOUT DE MON VOYAGE, UN CURSUS QUE J'AI CHEMINÉE AVEC UNE FORTE VOLONTÉ ET BEAUCOUP DE PATIENCE, JOUR APRÈS JOUR, MATIN ET SOIR, LE LONG DE LA NUIT EN DEDANS DE SON OBSCURITÉ IMPÉNÉTRABLE ET SON TERRIBLE SILENCE, UN DÉVOUEMENT QUI N'A PAS ÉTÉ VAIN, CELA DEVAIT FORCÉMENT ABOUTIR QUELQUE PART, ON DOIT Y ARRIVER ... - QUE JE ME DISAIS - , ET VOILÀ L'ÉPILOGUE EST ARRIVÉ .

DEVANT TOUTE FATIGUE, TOUTE DÉCEPTION OU SENTIMENT PESSIMISTE, J'AVAIS TOUJOURS UNE CONSOLATION QUE JE ME RÉPÉTAIS À MOI-MÊME POUR ME SOUTENIR ; JE FERMAIS LES YEUX, AVEC UN SOUFFLE SI PROFOND JE CRIAIS À L'INTÉRIEUR ET HURLER EN MOI : " COURAGE , ZAHRA / SALIMA , JE VAIS TROUVER CE TRUC ; CE QUE JE CHERCHE, JE VAIS SAISIR MON BUT QUI ME PARAÎT LOINTAIN " .

J'AI PU GARDER CETTE PERFORMANCE ET CETTE PERSÉVÉRANCE POUR RÉALISER CE TRAVAIL À LA FIN DE MON PARCOURS, UN TRAVAIL QUI NE POUVAIT JAMAIS VOIR LA LUMIÈRE SANS L'AIDE ET LA BÉNÉDICTION D'ALLAH AVANT TOUT, PUIS LE SUPPORT ET LE SOUTIEN DES GENS QUI M'ENTOURENT.

REMERCIEMENTS

<< NE REMERCIE PAS ALLAH CELUI QUI NE REMERCIE PAS
LES GENS >>

Paix et salut d'Allah sur prophète Mohamed

NOUS TIENONS A EXPRIMER TOUTES NOS RECONAISSANCES POUR
TOUTES LES PERSONNES QUI ONT CONTRIBUÉ AU SUCCÈS DE
NOTRE TRAVAIL ET QUI NOUS ONT AIDÉ À RÉALISER CE PROJET
DE FIN D'ETUDES.

NOUS VOUDRIONS DANS UN PREMIER TEMPS REMERCIER NOS
CHERS PARENTS ET NOS FAMILLES QUI ONT TOUJOURS ÉTÉ LÀ
POUR NOUS AVEC LEUR SOUTIEN CONSTANT ET LEUR
ENCOURAGEMENT.

PUIS NOUS ADRESSONS NOS SINCÈRES REMERCIEMENTS À NOTRE
ENCADREUR PROFESSEUR **ALLALI ABDERRAZAK** QUI NOUS A
DONNÉ BEAUCOUP DE SON TEMPS ET SA PATIENCE, ET QUI NOUS
A ENCADRÉ, ORIENTÉ ET CONSEILLÉ.

NOUS REMERCIONS LES RESPONSABLES DE LA SOCIÉTÉ **CR-
MÉTAL** QUI NOUS ONT BIEN REÇUS ET ACCUEILLIS, SANS OUBLIER
LES TRAVAILLEURS LÀ-BAS QUI NOUS ONT AIDÉ.

NOUS REMERCIONS AUSSI **PR.TEMMAR MUSTAPHA**, CHEF
DÉPARTEMENT DE GENIE MÉCANIQUE DE L'UNIVERSITÉ SAAD
DAHLEB BLIDA.1 ET TOUTE LA FAMILLE PÉDAGOGIQUE DU
DÉPARTEMENT.

ENFIN NOUS PRÉSENTONS NOS REMERCIEMENTS À NOS
AMIS(ES) ET TOUS CEUX QUI ONT PARTICIPÉ DE PRÈS OU
DE LOIN À LA RÉALISATION DE CE TRAVAIL.

DÉDICACE

NOUS DÉDIONS CE TRAVAIL À NOS TRÈS
CHERS PARENTS QUI NOUS ONT DONNÉS
DE L'ÉNERGIE ET QUI NOUS ONT
ENCOURAGÉS ET POUSSÉS DANS DE
BONNES CONDITIONS POUR TERMINER CE
TRAVAIL.

... À NOS FAMILLES, NOS SŒURS, À TOUS
NOS AMIS EN PARTICULIER QUI SONT
TOUJOURS LÀ POUR NOUS.

À TOUS CEUX QUE NOUS AIMONS,
À TOUS CEUX QUI NOUS AIMENT.

ZAHRA ET SALIMA

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : Etat de l'art

I.1. Généralité sur les cuves sous pression :.....	1
I.1.1. Fabrication :.....	1
I.1.2. Utilisation :.....	2
I.1.3. Utilisation dans le secteur pétrolier et dans le secteur pétrochimique :.....	2
I.2. Matériaux de construction :.....	2
I.2.1. Pression de service :.....	3
I.2.2. Développement des vaisseaux composites :.....	3
I.3. Choix de la cuve de stockage :.....	3
I.3.1. Cuves souples :.....	3
I.3.2. Cuves à simple paroi (métallique ou plastique) :.....	4
I.3.3. Cuve à double paroi :.....	5
I.3.4. Cuves enterrées :.....	5
I.4. Cuves métalliques (stockage des liquides à température ambiante) :.....	5
I.4.1. Cuves atmosphériques :.....	5
I.4.1.1. Cuves à toit fixe et fond plat :.....	6
I.4.1.2. Stabilité à la pression :.....	7
I.4.1.3. Stabilité à la dépression :.....	7
I.4.1.4. Cuves à toit flottant :.....	7
I.4.1.5. Cuves à écran flottant interne :.....	8
I.4.1.6. Chauffage et refroidissement :.....	8
I.4.1.7. Agitation et mélange :.....	8
I.5. Le métal utilisé dans la fabrication de la cuve :.....	8
I.5.1. Définition de l'acier :.....	8
I.5.2. Certification d'essai en usine de la plaque d'acier au carbone:.....	9
I.5.3. ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70 – Spécifications et normes :.....	9
I.5.4. ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70 – Composition chimique :.....	9
I.5.5. ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70 – Propriétés mécaniques :.....	10

CHAPITRE II :Théorie de conception d'une cuve sous pression

II.1 Introduction :.....	11
II.1.1 Sections du code :.....	11
II.1.2 SECTION VIII - Récipients sous pression :.....	11
II.1.3 ASME section I et section VIII – fondamentaux :.....	11
II.1.3.1 Conception :.....	11
II.1.3.2 Valeurs de contraintes maximales admissibles des réservoirs sous pression :.....	12
II.2 Conditions de calcul :.....	13
II.2.1 Calcul de la contrainte admissible (S) :.....	13
II.2.2 Calcul de l'épaisseur de Viroles :.....	14
II.2.3 Calcul de l'épaisseur du fond bombe :.....	14
II.2.3.1. Epaisseur nominale recommandé du fond bombé :.....	14
II.2.3.2. Epaisseur mini du fond bombé :.....	14

Sommaire

II.2.4	Epaisseur calculée pour la contrainte circonférentielle due à la pression intérieure de la cuve :.....	15
II.2.5	Epaisseur calculée pour la contrainte longitudinale due a la pression intérieure de la cuve :.....	15
II.3	Calcul des dimensions de la cuve :.....	16
II.3.1	Calcul des volumes des fonds bombé :.....	16
II.3.2	Calcul du volume intérieur des deux fonds bombé :.....	16
II.3.3	Calcul du volume de la partie cylindrique :.....	16
II.3.4	Calcul du poids théorique d'un fonds elliptique :	17
II.3.5	Calcul de la longueur de la partie cylindrique :.....	17
II.3.6	Calcul du poids théorique de la partie cylindrique :	17
II.4	Calcul du poids théorique de la cuve :.....	17
II.4.1	calcul du poids test hydrostatique :.....	17
II.5	calcul du poids hydraulique de la cuve :.....	18
II.6	longueur totale de la cuve :.....	18
II.7	Tubulures :.....	19
II.7.1	Calcul du renforcement des tubulures :.....	20
II.7.1.1	Renforcementdes trous d'homme Ø 20" (M1 Et M2) Ug 37.1 :.....	20
II.7.1.1.1	Surface recommandée pour la pression interne :.....	20
II.7.1.1.2	Surface du renforcement de la tubulure (Srt) :.....	21
II.7.1.1.3	Vérification du renforcement des trous d'homme (M1 et M2 Ø 20") :.....	21
II.7.1.2	Renforcement Des Tubulures Ø 4" (C1, C2, C11 Et C13) Ug 37.1 :	21
II.7.1.2.1	Surface recommandée pour la pression interne :.....	22
II.7.1.2.2	Surface du renforcement de la tubulure (Srt) :.....	22
II.7.1.2.3	Vérification du renforcement des trous d'homme Ø 4" (C1, C2, C11 Et C13) :.....	23
II.7.1.3	Renforcement Des Tubulures Ø 2" (C3, C4, C10, C12 Et C19) Ug37.1 :.....	23
II.7.1.3.1	Surface recommandée pour la pression interne :.....	24
II.7.1.3.2	Surface du renforcement de la tubulure (Srt) :.....	24
II.7.1.3.3	Vérification du renforcement des trous d'homme Ø 2" (C3, C4, C10, C12 Et C19) :.....	24
 CHAPITRE III :Conception et soudage d'une cuve sous pression		
III.1	Conception des cuves sous pression :.....	25
III.1.1	Sphère :.....	25
III.1.2	Ballons cylindriques :.....	25
III.1.3	Type de fonds :.....	26
III.1.4	Piquages et raccordements :.....	26
III.2	Qualification d'une procédure de soudage d'un équipement sous pression :.....	27
III.3	Exemple de carte de soudure d'une cuve sous pression :.....	27
III.4	soudage :.....	28
III.4.1	Définition :.....	28
III.4.2	Caractéristiques de la soudure :.....	28

Sommaire

III.4.3.Les différentes techniques de soudage :	30
III.4.3.1.Soudage à l'arc électrique :	30
III.4.3.2.Soudage à l'électrode enrobée :	31
III.4.3.3.Soudage MIG – MAG :	31
III.4.3.4.Soudage TIG :	32
III.4.3.5.Soudage à l'arc sous flux solide :	32
III.4.3.6.Brasage (soudage à la flamme) :	33
III.4.4.Principaux métaux pour soudage :	33
III.4.5.Types de soudures et Forme de joint :	34
III.4.6.Classification des défauts dans les assemblages soudés :	35
III.4.6.1. Défauts de fissures :	35
III.4.6.2.Défauts de soufflures ou cavités :	35
III.4.6.3.Défaut d'inclusions :	36
III.4.6.4.Défaut de manque de fusion et pénétration :	37
III.4.6.4.1.Défaut de manque de fusion :	37
III.4.6.4.2.Défaut de pénétration :	37
III.4.6.5.Morsures et caniveaux :	38
III.4.6.6.Défauts géométriques des cordons :	38
III.4.6.6.1.Défaut de convexité :	38
III.4.6.6.2. Défaut de concavité :	38
III.4.6.6.3.Défaut d'alignement :	39
III.4.6.6.4.Déformations angulaires :	39
III.4.6.6.5.Projection :	39
III .5.Défauts détectés sur la cuve :	40
III .5.1.Défauts détectés sur la cuve de la centrale belge de Doel :	40
III .5.2.Défauts de type DDH dans le cas du parc français :	40
III.6.Principales caractéristiques de conception et de contrôle des cuves :	40
III.6.1.Contrôle des soudures :	42
III.6.1.1.Contrôle avant le soudage :	42
III.6.1.2.Contrôle au cours du soudage:	42
III.6.1.3.Contrôle après le soudage:	43
III.6.2.Contrôles non destructifs :	43
III.6.2.1.Contrôles par ressuage :	43
III.6.2.2.Les Ultrasons :	43
III.6.2.3.La Magnétoscopie :	44
III.6.2.4.Courants de Foucault :	44
III.6.2.5.La Radiologie Industrielle :	45
III.7.Specificationprocède de soudage "WPS" du GPL de capacité 100 m ³ :	46
III.7.1Soudage Manuel À L'arc Aves Electrode Enrobée SMAW :	46
III.7.1.1.Detail pour soudagevirole – virole et fond – virole :	46
III.7.1.1.Detail pour soudage des piquages sur la cuve :	49
III.7.1.1.Detail pour soudageanneau de levage :	51

Chapitre IV : Conception et simulation d'une cuve sous SolidWorks

IV. Conception et simulation de la cuve sous pression :	54
IV.1. Logiciel utiliser :	54
IV.2.Historique :	54

Sommaire

IV.3.Fonctionnement :	54
IV.4.Différents composants de la cuve :	55
IV.5. Conception des composants de la cuve :	55
IV.5.1. Présentation de virole :	55
IV.5.2. Présentation de virole droite- gauche :	56
IV.5.3. Présentation des fonds 2000 elliptiques :	56
IV.5.4. Présentation de berceau :	57
V.5.5. Présentation d’anneau de levage 1 :	57
IV.5.6. Présentation d’anneau de levage 2 :	58
IV.5.7. Présentation de bride 1 :	58
IV.5.8. Présentation de bride type 2 :	59
IV.5.9. Présentation de skid :	59
IV.6. Assemblage des composants :	60
IV.7. Mise en plan des pièces :	63
IV.7.1. Mise en plan de virole droite- gauche :	63
IV.7.2. Mise en plan de fond elliptique droite- gauche :	64
IV.7.3. Mise en plan de berceau :	64
IV.7.4. Mise en plan d’anneau de levage 1 :	65
IV.7.5. Mise en plan d’anneau de levage 2 :	65
IV.7.6. Mise en plan de bride type 1 :	66
IV.7.7. Mise en plan de bride type 2 :	66
IV.7.8. Assemblage de la cuve :	67
IV.8. Simulation de la cuve sous pression :	67
IV.8.1. Introduction :	67
IV.8.2. Propriétés de l’étude :	68
IV.8.3. Simulation sur la cuve :	68
IV.8.4. Information de maillage :	69
IV.8.5.Résultat de l’étude :	70
IV.8.5.1. Contraintes (Von mises) :	70
Interprétation :	71
IV.8.5.2. Déplacement (déplacement résultant) :	71
Interprétation :	71
IV.8.5.3. Déformation (équivalent) :	71
Interprétation :	72
IV.9. Conclusion :	71

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I :Etat de l'art

Figure. I.1.Cuve souple.....	4
Figure. I.2.Cuve simple paroi.....	4
Figure.I.3.cuve à double paroi.....	5
Figure.I.4.cuve enterrée	5
Figure. I.5.Cuve à toit fixe	6
Figure. I.6.Cuve à toitflottant.....	7
Figure.I.7.Acier ASTM A516 G70.....	9
Figure. I.8.Acier ASME Sa516 G70.....	9

Chapitre II :Théorie de conception d'une cuve sous pression

Figure. II.1.Trou d'homme M1 et M2 Ø20".....	20
Figure.II.2.TubulureØ 4 ".....	21
Figure. II.3.TubulureØ2".....	23

Chapitre III :Conception et soudage d'une cuve sous pression

Figure.III.1. Cuve sphérique.....	25
Figure.III.2. Cuve cylindrique.....	26
Figure.III.3. Exemple de carte de soudure d'une cuve sous pression.....	28
Figure.III.4. Zones principales d'un cordon de soudure par fusion.....	29
Figure.III.5. Soudage à l'arc électrique.....	30
Figure.III.6. Soudage à l'électrode enrobé.....	31
Figure.III.7. Soudage MIG-MAG.....	31
Figure.III.8. Soudage TIG.....	32
Figure.III.9. Torche refroidie par liquide.....	32
Figure.III.10. Soudage à l'arc sous flux en poudre.....	32
Figure.III.11. Soudage à l'arc sous flux en solide.....	32
Figure.III.12. Brasage (soudage à laflamme).....	33
Figure.III.13.Technologie des différents types de soudage selon les normes ISO.....	34
Figure. III.14. Fissure longitudinale.....	35
Figure. III.15. Fissure transversale.....	35
Figure. III.16. Fissure de cratère.....	35
Figure.III.17.S. sphéroïdale isolée.....	36
Figure.III.18.Nid de soufflures.....	36
Figure.III.19.S. vermiculaires.....	36
Figure.III.20.Morceau de laitier inclus dans le cordon de soudage.....	36
Figure.III.21. Manque de fusion à la racine.....	37
Figure.III.22. Soudure ou un excès dans la passe précédente.....	37
Figure.III.23.Morsures.....	38

Liste des figures

Figure.III.24.Caniveaux.....	38
Figure.III.25.Défaut de convexité.....	38
Figure.III.26.Défaut de concavité.....	38
Figure.III.27.Défaut d’alignement.....	39
Figure.III.28.Déformations angulaires.....	39
Figure.III.29.Projection.....	39
Figure.III.30.Défaut sous revêtement.....	40
Figure.III.31.Défaut du à l’hydrogène.....	40
Figure.III.32.Pièces constitutives d’une cuve française.....	41
Figure.III.33. Schéma d’un control par ressuage.....	43
Figure.III.34.Contrôle de pièce fonderie.....	44
Figure.III.35.contrôle par magnétoscopie.....	44
Figure.III.36.Banc de magnétoscopie.....	44
Figure.III.37.Tri matière (bielle).....	44
Figure.III.38.Contrôle par courant de Foucault.....	44
Figure.III.39. Porte source.....	45
Figure. III.40.Soudagevirole –virole / fond 1- virole.....	46
Figure. III.41.Soudagedes piquages sur la cuve.....	49
Figure. III.42.Soudageanneau de levage.....	51

Chapitre IV :Conception et simulation d’une cuve sous SolidWorks

Figure.IV.1. Logo SOLIDWORKS.....	54
Figure.IV.2. Interface graphique de virole sous-SolidWorks.....	55
Figure.IV.3. Interface graphique de virole droite- gauche sous-SolidWorks.....	56
Figure.IV.4. Interface graphique du fonds elliptique droite- gauche sous-SolidWorks.....	56
Figure.IV.5. Interface graphique de berceau sous-SolidWorks.....	57
Figure.IV.6. Interface graphique d’anneau de louvage 1 sous-SolidWorks.....	57
Figure.IV.7. Interface graphique d’anneau de louvage 2 sous-SolidWorks.....	58
Figure.IV.8. Interface graphique de bride 1 sous-SolidWorks.....	58
Figure. IV.9. Interface graphique de bride type 2 sous-SolidWorks.....	59
Figure. IV.10. Interface graphique de skid sous-SolidWorks.....	59
Figure. IV.11. Interface d’assemblage.....	60
Figure. IV.12. Parcourir le dossier des composants.....	60
Figure. IV.13. Les composants avant l’assemblage.....	61
Figure.IV.14. Application de géométrie fixe.....	68
Figure.IV.15. Applications de pression.....	68
Figure.IV.16. Le maillage de la cuve sous pression.....	69
Figure.IV.17.Cuve sous pression H-statique 2-contraintes 1.....	70
Figure.IV.18. Cuve sous pression H- statique 2-déplacement 1.....	71
Figure.IV.19. cuve sous pression H-statique 2-tension-déformation.....	72

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Chapitre I :Etat de l'art

Tableau I.1. Spécifications et normes équivalentes de ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70.....	9
Tableau I.2. Composition chimique typique de ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70.....	10
Tableau I.3. Valeurs mécaniques typiques de ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70.....	10

Chapitre II :Théorie de conception d'une cuve sous pression

Tableau II.1. Valeurs de contraintes maximales admissibles des réservoirs sous pression.....	12
Tableau II.1. Fiche technique du GPL de capacité 100 m ³	13
Tableau II.3. Caractéristiques des matériaux de construction.....	13
Tableau II.4. Fiche technique de l'épaisseur de viroles.....	14
Tableau II.5. Fiche technique de l'épaisseur du fond bombe.....	14
Tableau II.6. Caractéristiques techniques de cuve sous pression :.....	19

Chapitre III :Conception et soudage d'une cuve sous pression

Tableau.III.1. Technologie du soudage avec électrode.....	30
Tableau.III.2 : Caractéristiques dimensionnelles des viroles des cuves françaises.....	42
Tableau.III.3. Métaux de base (1).....	46
Tableau.III.4. Métaux d'apport (1).....	47
Tableau.III.5. Position de soudage (1).....	47
Tableau.III.6. Préchauffage selon méthode (1).....	47
Tableau.III.7. Technique d'exécution du joint et caractéristique électrique (1).....	47
Tableau.III.3. Métaux de base (2).....	49
Tableau.III.4. Métaux d'apport (2).....	49
Tableau.III.5. Position de soudage (2).....	50
Tableau.III.6. Préchauffage selon méthode (2).....	50
Tableau.III.7. Technique d'exécution du joint et caractéristique électrique (2).....	50
Tableau.III.3. Métaux de base (3).....	52
Tableau.III.4. Métaux d'apport (3).....	52
Tableau.III.5. Position de soudage (3).....	52

Tableau III 6 Préchauffage selon méthode (3).....	52
Tableau.III.7. Technique d'exécution du joint et caractéristique électrique (3).....	52

Chapitre IV :Conception et simulation d'une cuve sous SolidWorks

Tableau.IV.1. Information sur le logiciel utiliser pour la conception.....	54
Tableau IV.2. Les propriétés de l'étude de simulation de la cuve.....	68
Tableau IV.3. Les unités que nous utilisons.....	68
Tableau IV.4. Information sur le maillage.....	69
Tableau IV.5. Tableau de maillage.....	69
Tableau IV.6. Forces de réaction.....	70
Tableau IV.7. Moment de réaction.....	70
Tableau IV.8. Forces du corps libre.....	70
Tableau IV.9. Moment du corps libre.....	70
Tableau IV.10. Contraintes.....	70
Tableau IV.11. Déplacement.....	71
Tableau IV.12. Tension déformation.....	71

Résumé

Résumé :

Ce travail interprète la conception des cuves sous pression en démontrant leurs calculs spécifique et en éclairant ces étapes notamment le soudage qu'on va cibler leurs problèmes et juste après avoir visées les solutions par des contrôles et des calculs précises.

Tout cela va s'accompagner avec simulation en 3D par un logiciel professionnel « Le SolidWorks » qui va parler leur tour aider à améliorer le produit par ses différentes paramètres et ses tests physiques qui vont m'entraîner les problèmes et éviter les échecs et aussi donner une vue large et précise selon un plan de travail.

Abstract :

this work explains pressure vessel industry by denoting their exact calculation and steps, specifically of welding, that shows their problems with the solution through flow up and calculations.

all this will be applicable with 3D similar to who have professional program « SolidWorks » and the same way this program will make the development of product, with its setting and experiences which make it difficult clearly in view and avoid in the mistakes and it will give an exact and clear view how depend the plan of work.

ملخص

هذا العمل يدرس صناعة خزان تحت الضغط وذلك بتوضيح الحسابات الدقيقة و المراحل خاصة مرحلة التلحيم التي نتطرق إلى مشاكلها و من ثم إلى الحلول المقترحة عبر المتابعة و الحسابات الدقيقة كل هذا يرافقه محاكاة ثلاثية الأبعاد عبر برنامج محترف (سوليد ووركس) و الذي بدوره يساعد على تطوير المنتج إعداداته و تجاربه التي تبرز المشاكل و تجنب الوقوع في الخلل و كذلك يعطي نظرة شاملة و دقيقة حسب مخطط العمل.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

Historique de CR. METAL :

CR. METAL, c'est plus de 65 ans d'expérience, c'est aussi plus de 912 agents engagés pour relever le défi et le challenge, c'est aussi une capacité de production de plus de 15000 tonnes par an.

CR METAL est présente pratiquement dans plusieurs secteurs et créneaux d'activité ; vous assure l'Engineering, la fabrication et le montage de la charpente métallique de toute nature, la fabrication et le montage de la chaudronnerie simple et complexe, y compris les Bacs de stockage de toute nature, et actuellement la fabrication des fonds bombés.

CR METAL a hérité du savoir-faire des établissements J. CARMELI créés en 1953, qui étaient déjà spécialisés dans la Chaudronnerie, déclarés biens de l'Etat en juin 1963 et deviennent en janvier 1964 Entreprise Nationale de Constructions Métalliques (E N C M). En février 1975, l'ENCM est rattachée à la SN METAL. Elle bénéficie d'un important programme de renouvellement (Investissements) de son outil de production et l'extension de ses infrastructures, ce qui lui a permis d'augmenter ses capacités de production, qui ont atteint 3000 T / An et de diversifier ses produits, en ajoutant les Stations de Concassage (1980) et le Coffrage Métallique (1982) à la restructuration des Entreprises Publiques.

En 1983, l'unité SN METAL Blida est rattachée à l'ENCC.

Elle bénéficie d'un autre plan d'investissement qui a fait augmenter les capacités installées de 3 000 à 5 000 T / An.

Depuis le 1er juillet 2001, l'Unité Chaudronnerie Blida est devenue une filiale du groupe industriel ENCC SPA, dénommée Société de Construction Métallique, par abréviation CR METAL, sous la forme d'une SPA au capital de 100 000 000 DA. Le 09/04/2002, CR METAL Spa obtenait sa certification ISO 9001 :2000 (organisme certificateur SGS France) En 2003, CR METAL Spa est inscrite dans le 1er programme de mise à niveau initié par le Ministère de l'Industrie. En juillet 2007, CR METAL Spa obtenait sa certification OHSAS 18001-1999 (Santé et Sécurité au Travail), délivrée par le même organisme certificateur. Dans la même période, CR METAL Spa est inscrite dans un 2ème programme de mise à niveau, avec d'importants investissements matériels et immatériels. Toutes ces mutations ont permis à la Société de garder ses parts de marché, voir augmenter, et cela en mettant à la disposition de ses clients des produits diversifiés et de qualité, et aussi de doubler son chiffre d'affaires. La

n°07/210 du 04/07/2007 relatif à la réévaluation des immobilisations non amortissables représentés par les terrains et à

la résolution n°02 de l'assemblée générale extraordinaire du 25/12/2007, a procédé à l'augmentation de son capital social qui passe de 100 000 000,00 DA à 680 100 000,00 DA.

Introduction générale

Différents produits :

CR METAL ENCC assure la fabrication et la commercialisation de :

*Charpente métallique



*Chaudronnerie.



*Équipements industriels divers.



*Fonds bombé.



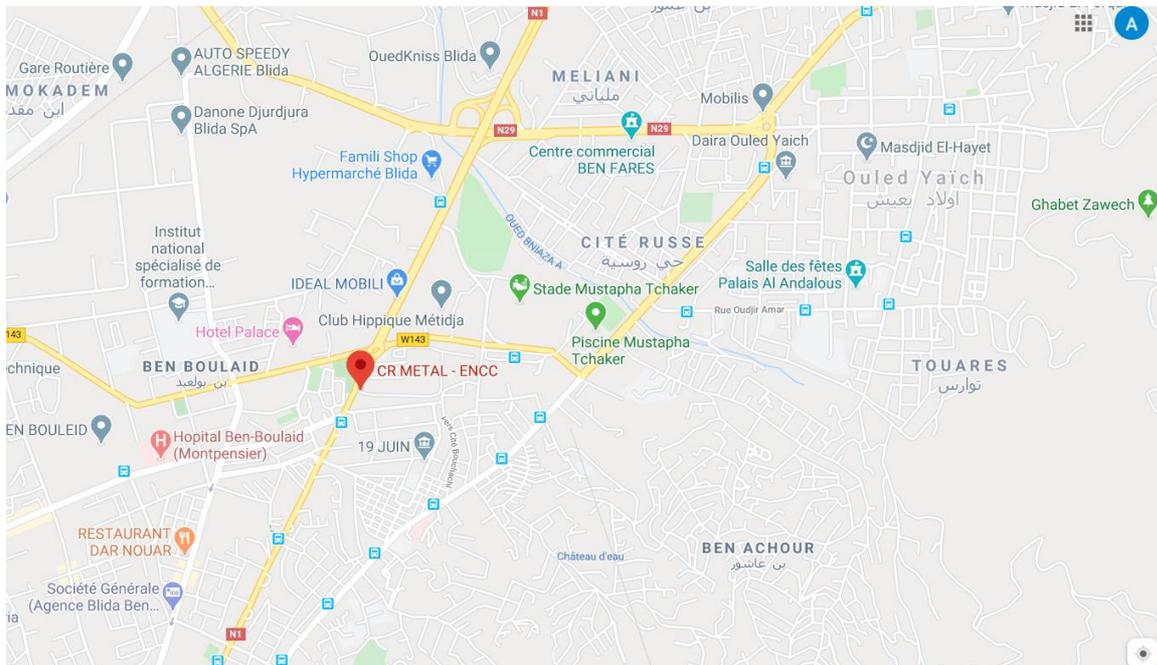
Introduction générale

*Montage industriel



Introduction générale

Situation géographique :



Intérêts du sujet :

Dans le cadre de la présentation de ce projet de réalisation en vue de l'obtention du diplôme de Master 2 en Génie mécanique, option Construction et Fabrication Mécanique, un stage de fin d'étude a été réalisé au niveau de l'entreprise Cr métal de Blida qui construit par excellence dans les domaines de la charpente métallique, chaudronnerie, équipements industriels, divers et fonds bombés. Ce stage concerne l'étude de conception sur les cuves sous pression.

Pour évoluer, notre étude débute par une introduction générale, après quoi nous avons partagé notre travail en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons un état de l'art sur les cuves sous pression pour améliorer notre connaissance dans ce domaine.

Le deuxième chapitre soulève les problèmes sur la théorie de conception des cuves de stockage. Les calculs et les dimensionnements et qui sont nécessaires pour l'utilisation des cuves en toute sécurité dans la mesure où des problèmes de fatigues apparaissent lorsque la structure est soumise à des pressions variables de façons répétée et ainsi que les effets de la corrosion.

Le troisième chapitre est consacré aux conceptions, soudage et simulation de la dite cuve.

Et enfin le dernier chapitre qui englobe les résultats et leurs interprétations.

Une conclusion générale comprend les principaux résultats de cette étude suivie des perspectives. Les références bibliographiques qui clôturent ce projet de réalisation.

Problématique :

*Elaborer une conception d'une cuve à l'aide de l'outil ordinateur proposer des synthèses différentes avec des variantes types (dimensionnements), faire un calcul adéquat de conception qui traite beaucoup des volets à savoir le calcul à la résistance, des normes ISO qui conditionnent le bon fonctionnement en pleine sécurité de cet outil de stockage etc.

*Etudier aussi la soudure comme procédé d'assemblage des éléments de charpente métallique. Il existe différents procédés pour réaliser une soudure ceux-ci peuvent se classer en deux grandes catégories. Les soudures réalisées en utilisant les propriétés de la combustion de certains gaz. Les soudures réalisées en utilisant l'énergie électrique. Un assemblage soudé doit présenter toutes les

Introduction générale

garanties d'obtention de la qualité finale escomptée lui permettant de satisfaire aux conditions de service qui lui sont imposées. Toutes les étapes de la réalisation d'un assemblage soudé sont soumises aux aléas de fabrication qu'il s'agisse du soin apporté à l'exécution ou de la rigueur. C'est un procédé d'assemblage permanent de deux ou plusieurs pièces par fusion localisée du métal. Le soudage offre un moyen de faire des assemblages métalliques continus, capables de transmettre des charges entre les composants d'une structure. Pour obtenir un joint soudé dans des conditions idéales, il doit y avoir entre les pièces soudées, une continuité parfaite du point de vue des propriétés du matériau ; plus particulièrement sur les plans mécanique, physique et métallurgique.

Toutefois, il existe de nombreuses manières d'obtenir des soudures dont les propriétés sont suffisamment proches des conditions idéales ou des conditions minimales recherchées pour l'exécution d'un joint soudé.

Faire un cordon de soudure ne consiste pas seulement à remplir de métal un joint préparé, il faut que soient réalisées certaines conditions qui constituent des facteurs importants de la qualité d'assemblage (répondre aux exigences d'une qualité ISO).

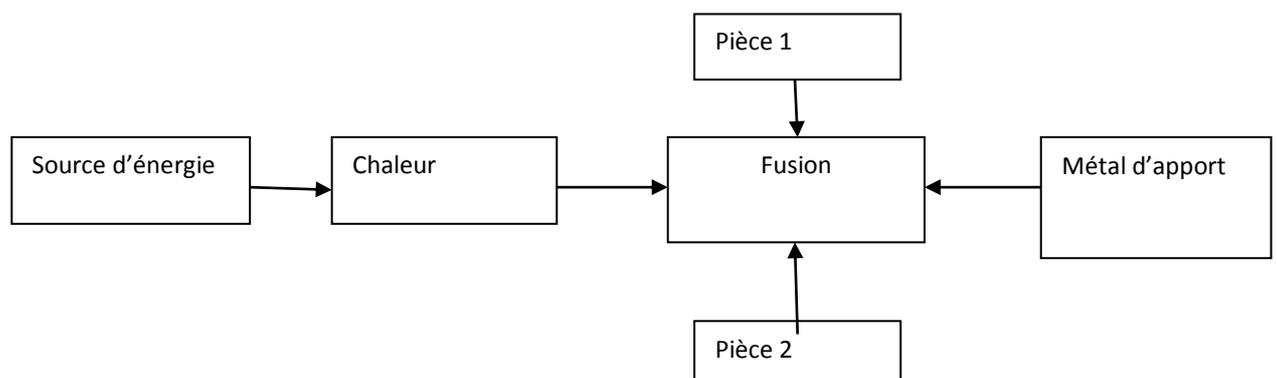


Schéma de principe de la soudure.

*Contrôle des défauts sont présents dans pratiquement toutes les structures métalliques, ils apparaissent lors de la fabrication essentiellement. A la solidification, les variations de volume, de température et de composition, induisent des séries de défauts, les soudures exacerbent les mêmes phénomènes. L'usinage et les traitements thermiques peuvent être à l'origine de fissurations dans l'état final des pièces.

Pour contrôler l'état d'une structure, les méthodes de contrôle non destructif permettent de déterminer l'existence et la géométrie de défauts. Les techniques de radiographie ou de contrôle ultrasonore donnent ces informations à cœur, tandis que les techniques de courants de Foucault, la magnétoscopie ou le ressuage donnent des informations sur les défauts proches de la surface ou débouchant.

En conclusion, des recommandations adéquates seront proposées après une étude détaillée dans ce volet de recherche dont le but d'éviter des défaillances fatales qui peuvent influencer sur la bonne utilisation de cet outil de stockage.

I.1. Généralités sur les cuves sous pression : [1]

Les cuves sous pression sont des composants utilisés pour stocker ainsi que pour transmettre des liquides, des gaz ou des vapeurs qui sont sous pression. De par leur conception, les cuves sous pression maintiennent les liquides ou les gaz à une pression différente de la pression ambiante autour du réservoir. Les cuves sous pression sont généralement utilisées pour les chaudières à vapeur, en vue de stocker des substances chimiques dans des usines chimiques, et pour stocker du pétrole et du carburant. Les cuves sous pression peuvent obtenir leur pression d'une source de chaleur directe ou indirecte. Les cuves sous pression exerceront de la pression de manière égale dans toutes les directions, contre toutes les parois de la cuve physique. Les matériaux les plus utilisés pour la fabrication sont :

- Acier au carbone.
- Acier inoxydable.

Les cuves sous pression sont souvent des réservoirs sphériques ou cylindriques.

Les deux types principaux de cuves sous pression sont :

1. Cuves conçues selon une construction finale.
2. Cuves conçues selon des dimensions. Les cuves conçues selon une construction finale peuvent être ouvertes ou fermées. Les cuves sous pression conçues selon des dimensions peuvent avoir une coque épaisse ou fine. Les cuves à coque fine sont destinées à des réservoirs, à des canalisations ou à des chaudières, alors que les cuves à coque épaisse sont destinées aux citernes et aux cylindres à haute pression.

I.1.1. Fabrication : [1]

Avec les cuves sous pression, la sécurité opérationnelle est fondamentale. Ainsi, la fabrication et la conception font l'objet de réglementations strictes de la part des autorités en matière d'ingénierie en raison de leur haute propension aux accidents mortels.

Aujourd'hui, la fabrication des cuves sous pression suit les étapes suivantes : 1. Stock de canalisations brutes doit être inspecté et, après examen, il doit être marqué par un numéro de suivi afin de s'assurer qu'il est possible de surveiller ces dernières tout au long du processus de fabrication.

2. Examens sont réalisés afin de s'assurer que les parois sont d'une épaisseur minimum et que les matériaux utilisés conservent leur intégrité.
3. Si nécessaire, des opérations de meulage peuvent être utilisées pour éliminer les imperfections ou pour polir la surface intérieure.
4. Tuyaux sont alors coupés dans la longueur.
5. Chauffage à induction précis est utilisé pour former les extrémités des tuyaux.
6. Cuves sont ensuite traitées à la chaleur, à l'intérieur d'un centre calibré et contrôlé.
7. Cuves subissent un refroidissement liquide afin de garantir que toutes les propriétés physiques soient en concordance avec les réglementations.
8. Solidité est testée et les résultats du processus de traitement à la chaleur sont confirmés.
9. Extrémités de la cuve sont traitées de manière adaptée.
10. Pression de service, le volume d'eau et le poids sont testés en plus de la vérification du traitement à la chaleur, de l'inspection en vue d'identifier des fuites et des mesures en termes d'élasticité.
11. Après un nettoyage à la vapeur interne afin d'éliminer toute humidité, la surface intérieure est propre et la surface extérieure traitée.

12. À la fin, le revêtement extérieur est achevé selon les spécifications du client et l'unité finale est prête à être envoyée.

I.1.2. Utilisations :

Les cuves sous pression peuvent être utilisées dans le secteur privé et dans les secteurs industriels. En termes d'usage domestique, on les retrouve communément utilisées en tant que réservoirs pour stocker de l'eau ou en tant que récepteurs d'air comprimé. Elles sont également utilisées par de nombreuses industries en tant que bouteilles de plongée, tours de distillation, chambres de recompression et réacteurs sous pression.

I.1.3. Utilisation dans le secteur pétrolier et dans le secteur pétrochimique : [1]

Les cuves sous pression utilisées dans les raffineries de pétrole et dans les industries pétrochimiques repoussent souvent les limites de conception dans un effort visant à maximiser la production et les utilisations.

Dans l'industrie du raffinage du pétrole, les cuves sous pression sont utilisées dans des services à des fins multiples.

- Pièges à condensat peuvent être utilisés pour contenir les condensats provenant des oléoducs. Leur incorporation peut favoriser la séparation efficace des particules solides et des particules liquides.
- Bouteilles accumulatrices peuvent être utilisées pour les activités pétrolières et gazières offshore.
- Vaisseaux déshydrateurs peuvent être utilisés pour éliminer des particules infimes provenant de la production de pétrole et du traitement de substances chimiques qui ont été négligées au cours du processus de séparation initial.
- Parmi les autres cuves, on trouve des cuves emballées, des cuves sur plateau, des cuves d'autoclaves, des séparateurs de phases et des cuves de vaisseaux d'absorption de gaz.

I.2. Matériaux de construction : [2]

Pour fabriquer une cuve sous pression cylindrique ou sphérique, et éventuellement laminées à pièces forgées devront être soudées ensemble. Certaines propriétés mécaniques de l'acier, obtenu par laminage ou forgeage, pourraient être affectées par soudage, à moins que des précautions particulières soient prises. En plus de résistance mécanique suffisante, les normes actuelles imposent l'utilisation de l'acier avec une haute résistance aux chocs. Dans les applications où l'acier au carbone éprouverait la corrosion, un matériau résistant à la corrosion particulière doit également être utilisé.

Des cuves sous pression sont faites de matériaux composites, tels que les composites enroulement de filament à l'aide de fibres de carbone, maintenu en place avec un polymère. En raison de la résistance à la traction très élevée de fibres de carbone ces vaisseaux peuvent être très légers, mais sont pour la fabrication beaucoup plus difficile. Le matériau composite peut être enroulé autour d'un liner métallique, en formant enceinte sous pression composite enveloppé. D'autres matériaux très courants comprennent des polymères tels que le PET dans des contenants de boissons gazeuses et de cuivre dans la plomberie.

Les cuves sous pression peuvent être alignés avec divers métaux, céramiques, polymères ou pour prévenir les fuites et de protéger la structure à partir du milieu contenu. Ce revêtement peut également transporter une partie importante de la charge de pression. Les cuves sous pression peuvent également être construites à partir de béton (PCV) ou d'autres matériaux qui sont faibles dans la tension. Câblage, enroulé autour du cuve ou à l'intérieur de la paroi ou du cuve elle-même, fournit la tension nécessaire pour résister à la pression interne. A lignes « de la membrane mince d'acier étanche » avec la paroi interne de la cuve. Ces vaisseaux peuvent être assemblés à partir de pièces modulaires et ont donc « aucune limitation de taille inhérentes ». Il y a aussi un haut degré de redondance grâce au grand nombre de câbles individuels résistant à la pression interne. La cuve

cylindrique très faible qui rend le corps d'un (cigarette) briquet rempli de butane liquide (environ 2 bars de pression, en fonction de la température) sont souvent de forme ovale (1 x 2 cm ... 1,3 x 2,5 cm) en section transversale, mais parfois circulaire. Les versions ovales sont en attente sous forme d'une ou deux barres de traction qui semble être des parois de séparation longitudinales incomplètes.

I.2.1. Pression de service : [2]

Les bouteilles de gaz à haute cylindriques circulaires typiques pression pour les gaz permanents (qui ne se liquéfient à stocker la pression, comme l'air, l'oxygène, l'azote, l'hydrogène, l'argon, l'hélium) ont été fabriqués par forgeage à chaud par pressage et de laminage pour obtenir un récipient en acier sans soudure.

La pression de travail des cylindres pour une utilisation dans l'industrie, l'artisanat qualifiés, la plongée et la médecine ont une pression de travail standardisé (WP) de seulement 150 bars en Europe jusque vers 1950. Depuis 1975 environ jusqu'à présent la pression normale est de 200 bars. Les Sapeurs-pompiers ont besoin de minces (et légers) cylindres pour se déplacer dans des espaces confinés, environ 1995 cylindres pour 300 bars WP est venu - premier en acier pur. La poussée de plomb plus léger en poids à différentes générations de composite (fibre et de la matrice, sur une doublure) des cylindres qui sont plus facilement endommageables par un coup depuis l'extérieur. L'épaisseur de paroi aide à résister. Par conséquent, les composites cylindres, sont généralement construits pour 300 bars. La Pression d'essai hydraulique (rempli d'eau) est - depuis toujours - en général 50% supérieure à la pression de travail.

I.2.2. Développement des vaisseaux composites :

Pour classer les différents principes de fabrication des bouteilles composites 4 types sont définis.

- Type 1 - Full Metal: cylindre est entièrement en métal.
- Type 2 - Hoop Wrap: cylindre de métal, renforcé par une enveloppe de cerclage en forme de bande avec un matériau de fibres. Le fond sphérique et la tête d'un cylindre cylindrique résistés par des motifs géométriques deux fois la pression que l'enveloppe cylindrique (épaisseur de paroi métallique uniforme supposée).
- Type 3 - bobinés, sur liner métallique en diagonale fibres enveloppées accumulation de la pression paroi résistant même à la partie inférieure et autour du cou de métal. Le revêtement métallique est mince et rend l'étanchéité aux gaz du récipient.
- Type 4 - bobinés, sur non-métal Chausson : Un revêtement de thermoplastique léger typique construit le (très) barrière étanche aux gaz, et (un peu gonflé) de la bobine à enrouler les fibres et la matrice (résine polyester ou époxy) autour. Seul le cou et l'ancre raccord à la doublure est encore en métal, en aluminium léger ou en acier inoxydable solide.

Type 2 et 3 cylindres sont venus autour de 1995. Type de 4 cylindres sont disponibles dans le commerce au moins à partir de 2016.

I.3. Choix de la cuve de stockage : [3]

I.3.1. Cuves souples :

Se présentant comme une bâche plastifiée rectangulaire souple, d'une capacité variant de quelques dizaines à 100 voire 200 m³ ; ce type de stockage est si possible entreposé sous abri dans l'enceinte de l'exploitation sur un terrain préalablement nivelé et dégagé de toute aspérité, cailloux en particulier.



Fig.I.1. Cuve souple.

I.3.2. Cuves à simple paroi (métallique ou plastique) :

Il est conseillé de choisir une cuve dans un matériau présentant à la fois une bonne résistance aux agressions chimiques et aux variations de température :

- Acier inoxydable est le matériau présentant l'avantage de résister à la corrosion des solutions azotées.
- Cuve en acier ordinaire convient si la face interne de la cuve est recouverte d'un revêtement protecteur (peinture époxy) posé par un professionnel compétent.
- Quant aux cuves fabriquées à partir de résines synthétiques armées de fibres de verre textile ou en polyéthylène, elles présentent une bonne résistance aux agressions chimiques mais leur exposition à des températures variables peut les fragiliser. Il existe des cuves horizontales et des cuves verticales.

Ces dernières nécessitent des précautions particulières lors de leur relevage pour leur mise en place.



Fig.I.2. Cuve simple paroi.

I.3.3. Cuves à double paroi :

Dans certains départements, les stockages à double paroi peuvent se faire sans bac de rétention (appelé aussi cuvette ou capacité de rétention) à condition que le pompage du fluide se fasse par le haut de la cuve et qu'il existe un dispositif de détection de fuites dans la double paroi.



Fig.I.3. Cuve à double paroi.

I.3.4. Cuves enterrées :

Ce type de stockage est très fortement déconseillé.



Fig.I.4. Cuve enterrée.

I.4. Cuves métalliques : stockage des liquides à température ambiante : [4]

I.4.1. Cuves atmosphériques :

Les cuves atmosphériques sont destinées à stocker des liquides sous une pression très proche de la pression atmosphérique, de manière à pouvoir stocker de grands volumes pour un coût d'investissement faible. On ne traitera ici que des stockages de produits nobles ou présentant un danger, et devant être protégés de l'air ambiant (poussières, intempéries, oxygène), d'une source d'ignition ou ne devant pas générer de contamination de l'environnement. Sont ainsi exclus de cette page les cuves d'eau ouverte à l'air libre.

I.4.1.1. Cuves à toit fixe et fond plat :

Elle consiste typiquement en un cylindre surmonté d'un toit plat ou bien en forme de cône ou encore de dôme, solidaire de la paroi cylindrique. Elles peuvent être construites en matière plastique mais elles sont le plus souvent métalliques. Elles sont faites de tôles rivetées pour les plus anciens ou entièrement soudées pour les plus récents. Ces derniers sont étanches aux vapeurs et gaz. Elles sont le plus souvent à fond plat, posé sur une semelle. Ce sont les plus répandus car les moins coûteux à construire. Leur taille peut aller de quelques mètres à plus de 60 mètres de diamètre. Un ciel gazeux existe continuellement au-dessus du liquide stocké. Leur résistance à la pression ou la dépression interne est faible et donc lors du remplissage du cuve, la phase gazeuse doit être évacuée, et lors de la vidange du cuve, de l'air ou un gaz inerte doit être introduit.

C'est pourquoi ces cuves doivent être munies d'évents de respiration, et/ou d'un système d'inertage si l'entrée d'air (oxygène ou humidité) n'est pas désirée. La respiration du cuve peut se faire au travers d'une soupape permettant de maintenir à l'intérieur une légère surpression ou dépression (+ ou - 2mbars). Cette différence de pression avec l'atmosphère ambiante est utile pour mettre en œuvre une injection de gaz d'inertage, ou un traitement de l'atmosphère rejetée : Pendant la vidange, une légère dépression apparaît qui déclenche automatiquement l'injection de gaz inerte avant l'ouverture de l'admission d'air atmosphérique.

- pendant le remplissage, une légère surpression permet de d'orienter l'évent du cuve vers une unité de traitement (lavage, absorption, incinération ...) avant l'ouverture de l'échappement vers l'atmosphère.

Pour éviter l'entrée d'humidité, l'évent peut être équipé d'un desséchant. Il s'agit d'une capacité remplie d'un absorbant d'humidité généralement solide (souvent du silicagel), au travers duquel l'air extérieur passe avant de pénétrer dans la cuve. Un moyen de détecter la saturation du desséchant et un accès pour le remplacer doivent être prévu. Dans le cas du silicagel celui-ci changeant de couleur lorsqu'il est saturé, la détection peut être simplement visuelle, si la capacité est transparente. La phase gazeuse évacuée lors du remplissage peut entraîner avec elle des vapeurs du liquide stocké. Si les vapeurs du liquide stocké sont inflammables, l'évent sera muni d'un arrête flamme. Si elles sont toxiques ou polluantes, elles devront être traitées.

Les cuves à toit fixe peuvent être :

- Acier.

- Polyester armé de fibre de verre ou en polypropylène pour les liquides corrosifs. Les cuves à toit fixe peuvent être munies d'un écran flottant interne pour bénéficier des avantages des cuves à toit flottant.



Fig.I.5. Cuve à toit fixe.

I.4.1.2. Stabilité à la pression :

Une cuve à fond plat est dite stable à la pression lorsque vide et soumis à la pression maximale admissible, l'étendue de son fond reste entièrement en contact avec la fondation. Aucun soulèvement n'est observé à sa périphérie.

Pour cela, le poids total de la jupe et du toit doit être supérieur au produit de la pression interne par la surface au sol du cuve.

La valeur maximum qu'on peut atteindre avec ce type de construction est 25 mbars.

I.4.1.3. Stabilité à la dépression :

Le fond d'une cuve est dit stable à la dépression si, à vide et sous l'effet de la dépression maximale, il ne se soulève pas de la fondation. Aucun décollement ne doit être observé au centre.

Pour cela, il faut que le poids de la tôle de fond par unité de surface soit supérieur ou égal à la valeur de la dépression.

La valeur maximum qu'on peut atteindre avec ce type de construction est de 5 mbars.

I.4.1.4. Cuve à toit flottant :

Ce type de cuve est apparu dans les années 1920 sur le continent nord-américain pour limiter les émissions à l'atmosphère de vapeurs dues à la respiration des bacs à toit fixe. Ils sont réservés au stockage à pression atmosphérique de liquides peu volatils.

Ils sont constitués d'une enveloppe cylindrique verticale à l'intérieur de laquelle coulisse le toit. En raison des tolérances de dimension de l'enveloppe cylindrique, et pour garantir un mouvement libre, un espace d'environ 20cm est prévu autour du toit flottant. Cet espace est comblé par un joint souple.

Le toit repose sur la surface du liquide contenu et se déplace avec elle.

Avantages :

- pas de mouvement de phase gazeuse lors des remplissages et vidanges
- l'absence de phase gazeuse limite les risques de départ de feu

Inconvénients :

- Etanchéité du toit difficile à réaliser
- Coût toujours supérieur à celui d'une cuve à toit fixe.

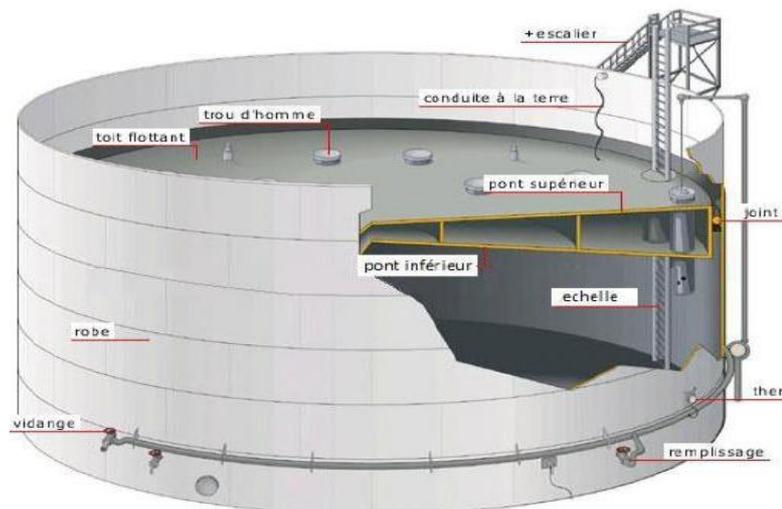


Fig.I.6. Cuve à toit flottant.

I.4.1.5. Cuve à écran flottant interne :

Elles sont construites avec un toit fixe, mais sont équipés, à l'intérieur d'un écran flottant à la surface du liquide. Ce sont souvent des cuves à toit fixe, modernisés.

L'écran flottant permet de limiter la vaporisation du liquide stocké, et de réduire (mais sans l'éliminer complètement) les émissions dues à la respiration du bac.

I.4.1.6. Chauffage et refroidissement :

Pour les produits visqueux ou risquant de cristalliser par refroidissement, il peut être utile de réchauffer ou maintenir en température le liquide stocké.

Deux moyens classiques :

- un tube dans lequel circule un fluide chaud (vapeur ou eau chaude) est disposé en serpentin sur le fond de la cuve. Pour être efficace il faut que le liquide soit peu visqueux afin que des mouvements de convection puissent s'établir.

- un échangeur est placé à l'intérieur du bac au niveau de la tubulure d'extraction afin de réchauffer le liquide avant son extraction pour faciliter son transfert. Cette méthode est préférée pour les liquides visqueux. Certains produits sensibles pouvant être dégradés par un stockage prolongé à température ambiante doivent être maintenus à basse température. Placer une serpentine fond du bac, parcouru par un fluide réfrigérant, sera inefficace. Les couches refroidies plus denses stagneront au fond du bac, aucun mouvement de convection n'étant possible. Il faut établir une circulation mécanique soit à l'aide d'un agitateur inséré dans le bac, soit par une recirculation externe au moyen d'une pompe et retour par un canon de brassage.

I.4.1.7. Agitation et mélange :

Les stockages de grande dimension peuvent être agités par canon de brassage et un circuit de pompage externe. Les stockages de dimension moyenne peuvent être équipés d'un agitateur mécanique fixé sur la paroi du bac, l'axe disposé horizontalement.

I.5. Le métal utilisé dans la fabrication de la cuve : [5]

Masteel fournit des plaques en acier au carbone de haute qualité pour la fabrication de chaudières et de réservoirs sous pression, parfaitement adaptées aux normes élevées fixées par l'industrie pétrolière, gazière et pétrochimique - c'est pourquoi nous stockons une vaste gamme de plaques de carbone selon ASTM A516 Grade 70 et ASME SA516 Grade 70.

I.5.1. Définition de l'acier : [6]

Aciers conçus pour des récipients à pression résistants à la chaleur. Les aciers de qualité A/SA 516 Gr.70 présentent une bonne soudabilité. On les utilise surtout pour fabriquer des chaudières, des récipients à pression et des tubes de transport de liquides chauds. Ils offrent également de bonnes propriétés à basses et hautes températures. L'état de fourniture du produit est en général laminage contrôlé.



Fig.I.7. Acier ASTM A516 G70

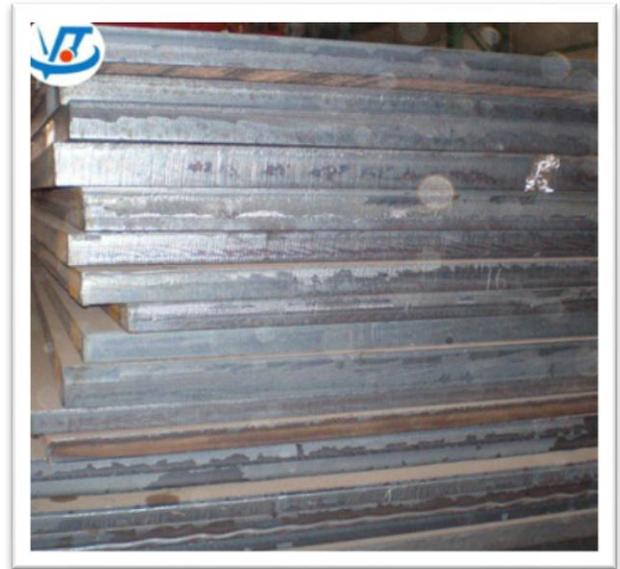


Fig.I.8. Acier ASME Sa516 G70

I.5.2. Certification d’essai en usine de la plaque d’acier au carbone : [5]

Les plaques en acier au carbone sont livrées avec la certification de l’usine conformément à EN10204 3.1 ou EN10204 3.2. Nos plaques sont entièrement traçables, généralement avec un estampage dur et nous accueillons toute inspection par un tiers ou un client si nécessaire, qui peut être organisée avec le client.

I.5.3. ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70 – Spécifications et normes : [5]

Les spécifications et normes des tôles d’acier au carbone ASTM A516 Grade 70 et ASME SA516 Grade 70 sont décrites dans le tableau 1.

Tableau I.1. Spécifications et normes équivalentes de ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70

La norme	La description
ASTM/ASME	A/SA516-GRADE70
Norme DIN	-
Standard britannique	BS1501-224-490A/B
Norme européenne	EN10028 P355GH

I.5.4. ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70 – Composition chimique : [5]

La composition chimique des plaques d’acier au carbone ASTM A516 Grade 70 et ASME SA516 Grade 70 est indiquée dans le tableau 2.

Tableau I.2. Composition chimique typique de ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70

Composition	Pourcentage %	Composition	Pourcentage %
C	0,10/0,22	Cu	0,3
Si	0,6	Ni	0,3
Mn	1/1,7	Mo	0,08
P	0,03	Nb	0,01
S	0,03	Ti	0,03
Al	0,02	V	0,02
Cr	0,3	-	-

I.5.5. ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70 – Propriétés mécaniques : [5]

Les propriétés mécaniques des tôles d'acier au carbone ASTM A516 Grade 70 et ASME SA516 Grade 70 sont décrites dans le tableau 3.

Tableau I.3. Valeurs mécaniques typiques de ASTM A516 Grade 70 / ASME SA516 Grade 70

Propriété	Valeur
Résistance à la traction (N/mm ²)	510/650
Limite d'élasticité /min (N/mm ²)	335

II.1. Introduction : [7]

Les critères de conception du code ASME consistent en des règles de base spécifiant la méthode de conception, les charges de conception, les contraintes, matériaux acceptables, fabrication, essais, certification et exigences d'inspection.

La méthode de conception connue sous le nom de « conception par règle » utilise la pression de conception, la contrainte admissible et une formule de conception compatible avec la géométrie pour calculer l'épaisseur minimale requise des réservoirs sous pression, récipients et tuyaux.

L'ASME - American Society of Mechanical Engineers - International Boiler and Pressure Vessel code est composé de 12 sections et contient plus de 15 divisions et sous-sections.

II.1.1. Sections du code :

I. Chaudières électriques

II. Matériaux

III. Règles de construction des composants des installations nucléaires

IV. Chaudières de chauffage

V. Examen non destructif

VI. Règles recommandées pour l'entretien et le fonctionnement des chaudières de chauffage

VII. Directives recommandées pour l'entretien des chaudières électriques

VIII. Récipients à pression

IX. Qualifications en soudage et brasage

X. Récipients à pression en plastique renforcé de fibres

XI. Règles pour l'inspection en service des composants des centrales nucléaires

II.1.2. SECTION VIII - Récipients sous pression : [8]

Division 1 - Fournit les exigences applicables à la conception, la fabrication, l'inspection, les essais et la certification des récipients sous pression fonctionnant à des pressions internes ou externes supérieures à 15 psi.

Division 2 - Règles alternatives, fournit des exigences pour la conception, la fabrication, l'inspection, les essais et certification des récipients sous pression fonctionnant à des pressions internes ou externes supérieures à 15 psi.

Division 3 - Règles alternatives pour la construction des récipients à haute pression, fournit les exigences applicables à la conception, la fabrication, l'inspection, les essais et la certification des appareils sous pression fonctionnant à l'un ou l'autre pressions internes ou externes généralement supérieures à 10 000 psi.

II.1.3. ASME Section I et Section VIII – fondamentaux [7] :

Les formules des sections I et VIII de l'ASME sont utilisées pour déterminer l'épaisseur minimale requise et la pression de conception de la tuyauterie, des tubes, des fûts et des collecteurs en utilisant le fonctionnement maximal autorisé Pression (MAWP). Cependant, le paragraphe UG-31 stipule que ces formules peuvent également être utilisées pour calculer l'épaisseur de paroi des tubes et tuyaux sous pression interne.

II.1.3.1. Conception :

La section I du code de chaudière ASME, ainsi que la section VIII, exigent un bout longitudinal et circconférentiel articulations à examiner par radiographie complète.

Lorsque la conception de la cuve est requise, joint longitudinal soudé bout à bout, la coque cylindrique aura un facteur d'efficacité conjoint ($E = 1,0$). Ce facteur correspond à un facteur de sécurité (ou qualité du matériau facteur) de 3,5 dans le métal-mère.

II.1.3.2. Valeurs de contraintes maximales admissibles des réservoirs sous pression :

Les valeurs de contrainte maximales admissibles à utiliser dans le calcul de l'épaisseur de la paroi sont donné dans le code ASME pour de nombreux matériaux différents. Ces valeurs de contrainte sont fonction de la température.

Tableau II.1. Valeurs de contraintes maximales admissibles des réservoirs sous pression

Valeur de contrainte maximale admissible pour les aciers communs				
Matériel	Type	Classe	Devisions 1 -20°F à 650°F	Devisions 2 -20°F à 650°F
Acier Carbone Plaques et Feuilles	SA-516	Classe 55	13800	18300
		Classe 60	15000	20000
		Classe 65	16300	21700
		Classe 70	17500	23300
	SA-285	Classe A	11300	15000
		Classe B	12500	16700
		Classe C	13800	18300
	SA-36		12700	16900
	SA-203	Classe A	16300	21700
		Classe B	17500	23300
		Classe D	16300	21700
		Classe E	17500	23300
SA-240	Classe 304	11200	20000	
	Classe 304L	-	16700	
	Classe 316	12300	20000	
	Classe 316L	10200	16700	

Division 1 : régit la conception par des règles, est moins stricte du point de vue de certains détails de conception et les procédures d'inspection et incorpore donc un facteur de sécurité plus élevé de quatre (4). Par exemple, si un 60 000 Un matériau de résistance à la traction psi est utilisé, la valeur de contrainte maximale admissible est de 15 000 psi.

Division 2 : régit la conception par analyse et incorpore un facteur de sécurité inférieur de 3. Ainsi, le maximum la valeur de contrainte admissible pour un matériau résistant à la traction de 60 000 psi deviendra de 20 000 psi.

II.2. Conditions de calcul : [9]

Tableau II.2. Fiche technique du GPL de capacité 100 m³ : [10]

Fluide	Propane / Butane
Code de calcul	ASME Section VIII Division 1 (Edition Juillet 2017)
Diamètre extérieur	3000 mm
Capacité	100 m ³
Type	Réservoir cylindrique horizontal
Pression de service	19,3 bars
Pression de calcul	20 bars
Température de calcul	- 10° C / + 50° C
Température de service	- 10° C / + 50° C
Densité propane / Butane	502 / 577 à 15° C
Fond bombé	Elliptique
Surépaisseur de corrosion	3 mm
Coefficient de joint	0,85
Radiographie	100%
Traitement thermique	Oui (Détente)
Lieu d'implantation	Centre Emplisseur El Oued

Tableau II.3. Caractéristiques des matériaux de construction : [10]

Fonds et viroles :	P295 GH
● Résistance à la rupture :	$R_m = 480 \text{ N/mm}^2$
● Résistance à l'élasticité :	$R_{p0.2} = 290 \text{ N/mm}^2$
Tubulures :	SA 106 Gr. B
Brides de tubulures :	SA 105
Berceaux : Berce :	P295 GH
Support (Embase et Ame) :	E 24
Boulonnerie :	SA 193 Gr. B7 / SA 194 Gr. 2H

II.2.1. Calcul de la contrainte admissible (S) : [9]

S = la plus faible des deux valeurs suivantes :

$$R_m/4 = 480/4 = 120 \text{ N/mm}^2 = 12 \text{ daN/mm}^2$$

$$R_{p0.2}/1,5 = 290/1,5 = 193,33 \text{ N/mm}^2 = 19,33 \text{ daN/mm}^2$$

D'où la contrainte admissible

$S = 12 \text{ daN/mm}^2 = 1223,24 \text{ kg/cm}^2$

II.2.2.Calcul de l'épaisseur de Viroles :

Tableau II.4.Fiche technique de l'épaisseur de viroles

Pression de calcul	$P = 20 \text{ bars} = 20,39 \text{ kg/cm}^2$
Contrainte admissible max	$S = 1223,24 \text{ kg/cm}^2$
Rayon intérieur de virole	$R_i = 1475 \text{ mm}$
Coefficient de joint	$E = 1$

$$t_r (\text{Epaisseur de virole}) = P \times R_i / (S \times E - 0,6 P)$$

$$t_r = 20,39 \times 1475 / (1223,24 \times 1 - 0,6 \times 20,39)$$

$$t_r = 24,83 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée est :

$t_r = 25 \text{ mm}$

II.2.3.Calcul de l'épaisseur du fond bombé :

Tableau II.5.Fiche technique de l'épaisseur du fond bombé

Pression de calcul :	$P = 20,39 \text{ kg/cm}^2$
Diamètre intérieur :	$D_e = 2950 \text{ mm}$
Contrainte admissible :	$S = 1223,34 \text{ kg/cm}^2$
Coefficient de joint :	$E = 1$

t = Epaisseur recommandée après formage

Fond bombé elliptique sans soudure

II.2.3.1.Epaisseur nominale recommandée du fond bombé :

$$t = P \times D_e / (2SE - 0,2 \times P)$$

$$t = 20,39 \times 2950 / (2 \times 1223,34 \times 1 - 0,2 \times 20,39)$$

$$t = 24,602 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée (après formage) est :

$t = 25 \text{ mm}$

II.2.3.2.Epaisseur mini. du fond bombé (t_{mini}) :

$$t_{\text{mini}} = P \times K_1 \times D_e / (2S \times E - 0,2 P \times (K_1 - 0,1))$$

$$t_{\text{mini}} = 20,39 \times 0,9 \times 2950 / [2 \times 1223,34 \times 1 - 0,2 \times 20,39 \times (0,9 - 0,1)]$$

$$t_{\text{mini}} = 22,168 \text{ mm}$$

Epaisseur mini du fond t_{mini} est :

$t_{\text{mini}} = 22,5 \text{ mm}$

II.2.4. Epaisseur calculée pour la contrainte circonférentielle due à la pression intérieure de la cuve [11] :

Selon ASME Section VIII, division 1, : Lorsque l'épaisseur ne dépasse pas la moitié du rayon intérieur, ou si P ne dépasse pas $0.385 \times S_v \times E_v$ la formule suivante est applicable pour calculer l'épaisseur pour la contrainte circonférentielle (joints longitudinaux) :

$$T_{1v} = [(P \times R) / (S_v \times E_v - 0.6 \times P)] + CA$$

$$CA = 1 \text{ mm}$$

R : est le rayon intérieur de l'enveloppe

Pour les viroles de l'enveloppe cylindrique de la cuve, l'acier utilisé est de nuance A516 Gr 70 . La valeur de la contrainte admissible d'après le code ASME section II, est déterminée par interpolation pour une température de (-10°C, +50°C)

Donc on a :

$$S_v = 20000 \text{ PSI} = 137.89 \text{ Mpa}$$

Suivant ASME 2007, section VIII, Division 1, Le Coefficient du joint E pour les viroles subissant les contraintes circonférentielles, est égal à 1. $E_v=1$

$$0.385 \times S_v \times E_v = 53.08 \text{ MPA} > P = 2 \text{ MPA}, \text{ la condition est vérifiée}$$

Donc on a :

$$T_{1v} = [(P \times R) / (S_v \times E_v - 0.6 \times P)] + CA$$

Suivant le code A.S.M.E, section VIII division 1, l'équation précédente peut être remplacée par la suivante :

$$T_{1v} = [(P \times R_0) / (S_v \times E_v + 0.4 \times P)] + CA$$

$$CA = 1 \text{ mm}$$

$$S_v = 137.89 \text{ Mpa}$$

$$R_0 = 1500 \text{ mm} : \text{ le rayon extérieur des viroles.}$$

$$P = 20 \text{ bars} = 2 \text{ Mpa}$$

$$T_{1v} = [(P \times R_0) / (S_v \times E_v + 0.4 \times P)] + CA = 22.63 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée pour la contrainte circonférentielle :

$T_{1v} = 23 \text{ m}$

II.2.5. Epaisseur calculée pour la contrainte longitudinale due a la pression intérieure de la cuve :

Selon ASME Section VIII, division 1 : Lorsque l'épaisseur ne dépasse pas la moitié du rayon intérieur, ou si P ne dépasse pas $1.25 \times S_v \times E_v$ la formule suivante est applicable :

$$T_{2v} = [(P \times R) / (2 \times S_v \times E_v + 0.4 \times P)] + CA$$

- R : le rayon intérieur des viroles de la partie cylindrique.

- Suivant ASME 2007, section VIII, Division 1 : pour une radiographie complète (100%)

Le coefficient du joint E_v pour les viroles subissant les contraintes longitudinales, est égal à 0.9.

- $E_v = 0.9$

$1.25 \times S_v \times E_v = 155.12 \text{ MPA} > P = 2 \text{ MPA}$, la condition est vérifiée.

Donc on a :

$$T_{2v} = [(P \times R) / (2 \times S_v \times E_v + 0.4 \times P)] + CA.$$

Suivant le code A.S.M.E, section VIII division 1, l'équation précédente peut être remplacée par la suivante :

$$T_{2v} = R_0 [(Z)^{1/2} - 1 / (Z)^{1/2}] + CA$$

$$Z = [(P / S_v \times E_v)] + 1 = 1.016$$

$$T_{2v} = 12.94 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée pour la contrainte longitudinale :

$$T_{2v} = 13 \text{ mm}$$

Epaisseur adoptée pour l'enveloppe cylindrique sous pression intérieure de 20 bars :

$$T_v = \text{Max}(T_{1v}, T_{2v}) = 23 \text{ mm}$$

II.3. Calcul des dimensions de la cuve :

II.3.1. Calcul des volumes des fonds bombés :

Suivant la norme française relative aux fonds bombés à profil elliptique « E81-103 du document VALLOUREC division emboutis » :

Volume d'un fond bombé :

$$V = S \times t$$

S : Surface du fond elliptique

$$S = \Pi \times a \times (1.41078 \times a + 2 \times h)$$

$$a = (D/2 - t/2) = 1.48875 \text{ m}$$

D : la longueur extérieure du grand axe du fond elliptique ;

H : la hauteur de la partie cylindrique qui fait partie de fond et qui sera soudée à l'enveloppe cylindrique de la cuve.

$$h = 0.08 \text{ m} = 80 \text{ mm} \text{ (dimension suivant la norme NF E 81-103)}$$

Après calcul :

$$S = 10.56 \text{ m}^2$$

Volumes des Fonds bombés est :

$$V = 0.264 \text{ m}^3$$

Volume des deux fonds bombés est :

$$V_f = 2 \times 0.263 = 0.528 \text{ m}^3$$

II.3.2. Calcul du volume intérieur des deux fonds bombés :

$$V_{int} = \Pi \times ((D_{ext} / 2) - t)^2 \times ((2/3) \times f + h)$$

$$f = 725 \text{ mm} = 0.725 \text{ m}$$

$$h = 80 \text{ mm} = 0.08 \text{ m}$$

$$D_{ext} = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$$

$$t = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$$

Volume intérieur d'un fond bombé est :

$$V_{int} = 3.85 \text{ m}^3$$

Volume intérieur des deux fonds bombés est :

$$V_{t int} = 2 \times V_{int} = 7.70 \text{ m}^3$$

II.3.3. Calcul du volume de la partie cylindrique :

Le volume du contenu à l'intérieur géométrique de la cuve est de 103.12 m³

Le volume intérieur des deux fonds bombés $V_{int} = 7.70 \text{ m}^3$

Alors le volume de la partie cylindrique :

$$V_v = 103.12 - V_{int}$$

le volume de la partie cylindrique est :

$$V_v = 95.42 \text{ m}^3$$

II.3.4. Calcul du poids théorique d'un fonds elliptique :

$$P_{thf} = V \times \rho$$

$$P_{thf} = 0.263 \times 7850$$

$$P_{thf} = 2064.55 \text{ kg}$$

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ masse volumique pour l'acier

Pour deux fonds bombés, le poids théorique est :

$$P_{thf} = 2 \times P_{thf} = 4129.1 \text{ kg}$$

II.3.5. Calcul de la longueur de la partie cylindrique :

$$L_v = V_v / (\pi \times D_{ext}^2 / 4)$$

$$V_v = (\pi \times D_{ext}^2 / 4) \times L_v$$

$$V_v = 95.42 \text{ m}^3$$

$$L_v = V_v / (\pi \times D_{ext}^2 / 4)$$

la longueur de la partie cylindrique est :

$$L_v = 13500 \text{ mm}$$

II.3.6. Calcul du poids théorique de la partie cylindrique :

$$P_{thv} = \pi \times (D_{ext} - T_v) \times T_v \times L_v \times \rho$$

$$P_{thv} = 23936.30 \text{ kg}$$

le poids théorique de la partie cylindrique est :

$$P_{thv} = 24761.68 \text{ kg}$$

II.4. Calcul du poids théorique de la cuve :

Le poids théorique de la cuve à vide, c'est le poids de l'équipement au moment de sa sortie de l'atelier de fabrication, autrement dit avant sa mise en service.

$$P_{th\text{cuv}} = P_{thf} + P_{thv}$$

le poids théorique de la cuve est :

$$P_{th\text{cuv}} = 28290.78 \text{ kg}$$

II.4.1. calcul du poids test hydrostatique :

Le poids test hydrostatique est le poids de la cuve pleine d'eau

Poids de l'eau ($P_{eau} = 100000 \text{ kg}$)

$$P_{th\text{cuv}} = 28290.78 \text{ kg}$$

$$P_{tes\text{h}} = P_{th\text{cuv}} + P_{\text{Poids de l'eau}}$$

$$P_{tes\text{h}} = 27322.54 + 100000 = 128890.78 \text{ kg}$$

Le poids test hydrostatique est :

$$P_{tes\text{h}} = 128890.78 \text{ kg}$$

II.5.calcul du poids hydraulique de la cuve :

Le poids hydraulique P_{hydrol} de la cuve est le poids de la cuve pleine avec le fluide stocké (GPL).

Poids du fluide ($P_{\text{fluide}} = \rho \times V_{\text{fluide}}$)

$$V_{\text{fluide}} = 100 \text{ m}^3$$

$$\rho = 555 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{\text{fluide}} = 555 \times 100 = 55500 \text{ kg}$$

$$P_{\text{th cuv}} = 28290.78 \text{ kg}$$

$$P_{\text{hydrol}} = P_{\text{th cuv}} + P_{\text{fluide}}$$

$$P_{\text{hydrol}} = 28290.78 + 55500 = 83790.78 \text{ kg}$$

$P_{\text{hydrol}} = 83790.78 \text{ kg}$

II.6.longueur totale de la cuve :

$$L_t = (L_v + 2xh + 2xf + 2xT_f)$$

La longueur totale de la cuve est

$L_t = 15160 \text{ mm}$

II.7.Tubulures [9] :

Tableau II.6. Caractéristiques techniques de cuve sous pression :

Nomenclature						Bride			
Item	Item	Qty.	Diam.	(ép.mm)	Matériau	Type	Série	Face	Matériau
M1	Trou d'homme sur virole	1	20"	40 (15.09)	A106 Gr. B	S.O.	300#	RF	SA 105
M2	Trou d'homme sur fond Bombé	1	20"	40 (15.09)	A106 Gr. B	S.O.	300#	RF	SA 105
C1	Soutirage sur virole	1	4"	160 (13.49)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C2	Remplissage sur virole	1	4"	160 (13.49)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C3	Phase vapeur sur virole	1	2"	160 (8.74)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C4	Phase retour sur virole	1	2"	160 (8.74)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C5	Prise de terre sur support	1	20 mm	-	Laiton	-	-	-	-
C6	Purge chek lock sur virole	1	3/4" NPT	-	A 105	-	-	-	-
C9	Anneau de levage sur virole	6	-	(30)	E24	-	-	-	-
C10	Event sur virole	1	2"	160 (8.74)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C11	Soupape de sureté sur Virole	1	4"	160 (13.49)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C12	Réserve sur virole	1	2"	160 (8.74)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C13	Switch niveau haut sur Virole	1	4"	160 (13.49)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C14	Passerelle sur virole	1	-	-		-	-	-	-
C15	PI (Manomètre) sur virole	2	1/2" NPT	-	A 105	-	-	-	-
C16	PI (Manomètre) sur fond	1	1/2"	160 (4.78)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C17	Jauge magnétique sur fond	1	-	-	-	-	-	-	-
C18	TI thermomètre sur fond	1	1/2" NPT	-	A 105	-	-	-	-
C19	Réserve sur virole	1	2"	160 (8.74)	A106 Gr. B	WN	300#	RF	SA 105
C20	Support sur virole	2	-	(20)	E24	-	-	-	-
C21	Berce sur virole	2	-	(15)	P295 GH	-	-	-	-

II.7.1. Calcul du renforcement des tubulures :

II.7.1.1. Renforcement Des Trous D'homme Ø 20" (M1 Et M2) Ug 37.1 :

Trou d'homme M1 et M2 Ø 20" :

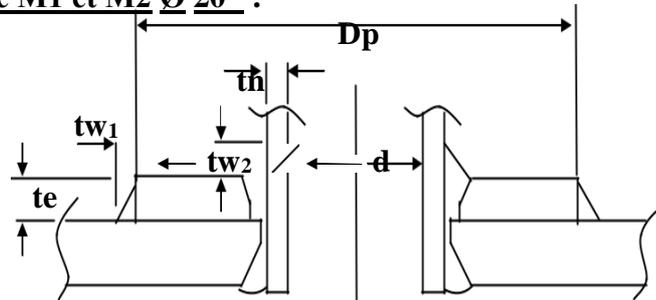


Fig. II.1. Trou d'homme M1 et M2 Ø 20"

Diamètre max du renfort $D_p = 2 \times d$ (Ø_{int} de la tubulure = 477,82) = 956 mm d (sans surépaisseur de corrosion) = 483,82 mm t_n (Épaisseur du tube) = 15,09 mm

t (Ep. de virole) = 25 mm

Tolérance de formage = 2 mm

t_r (Épaisseur de la virole sans tolérance) = 23 mm Surépaisseur de corrosion = 3 mm

t_e (Épaisseur du renfort) = 20 mm

t_{r_n} (Surépaisseur de corrosion de part et d'autre du tube) = 6 mm S_n (Contrainte admissible du tube) = 1223,24 kg/cm²

S_p (Contrainte admissible du renfort) = 1223,24 kg/cm² S_v (Contrainte admissible de la virole) = 1223,24 kg/cm² $f_{r1} = f_{r2}$ (Facteur) = $S_n / S_v = 1$

f_{r3} (Facteur) = $S_p / S_v = 1$

F (Facteur de correction) = 1

E_1 (Coéf. du Ø d'ouverture) = 1

P (Pression de calcul interne) = 20,39 kg/cm²

L_{eg1} (t_{w1} coté du cordon de soudure) = 18 mm

L_{eg2} (t_{w2} coté du cordon de soudure) = 22 mm

II.7.1.1.1. Surface recommandée pour la pression interne :

$$A = d \times t_r \times F + 2 \times t_n \times t_r \times F \times (1 - f_{r1})$$

$$= 483,82 \times 23 \times 1 + 2 \times 15,09 \times 23 \times 1 \times (1 - 1)$$

La Surface recommandée pour la pression interne est :

$$A = 11127,86 \text{ mm}^2$$

II.7.1.1.2.Surface du renforcement de la tubulure (S_{rt}) :

$$S_{rt} = A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 :$$

$$\begin{aligned} A_1 &= d \times (E_1 \times t - F \times t_r) - 2 \times t_n (E_1 \times t - F_{tr}) \times (1 - f_{r1}) \\ &= 483,82 \times (1 \times 25 - 1 \times 23) - 2 \times 15,09 \times (1 \times 25 - 1 \times 23) \times (1 - 1) \\ &= \mathbf{967,64 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 5 \times (t_n - t_{rn}) \times f_{r2} \times t < 2 \times (t_n - t_{rn}) \times (2,5 \times t_n + t_e) \times f_{r2} \\ &= 5 \times (15,09 - 6) \times 1 \times 25 \\ &= \mathbf{1136,25 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$A_3 = 0$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= l_{eg}^2 \times f_{r3} = 22^2 \times 1 \\ &= \mathbf{324 \text{ mm}^2}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= l_{eg}^2 \times f_{r3} = 18^2 \times 1 \\ &= \mathbf{324 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2t_n) \times t_e \times f_{r4} \\ &= (956 - 483,82 - 2 \times 15,09) \times 20 \times 1 \\ &= \mathbf{88840 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

II.7.1.1.3.Vérification du renforcement des trous d'homme (M1 et M2 Ø 20")

$$S_{rt} (A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_5) \geq A [d \times t_r \times F + 2 \times t_n \times t_r \times F \times (1 - f_{r1})]$$

$$11751,89 \text{ mm}^2 \geq 11127,86 \text{ mm}^2. \quad \Rightarrow \quad \text{Ouverture suffisamment renforcée}$$

II.7.1.2.Renforcement Des Tubulures Ø 4" (C1, C2, C11 Et C13) Ug 37.1

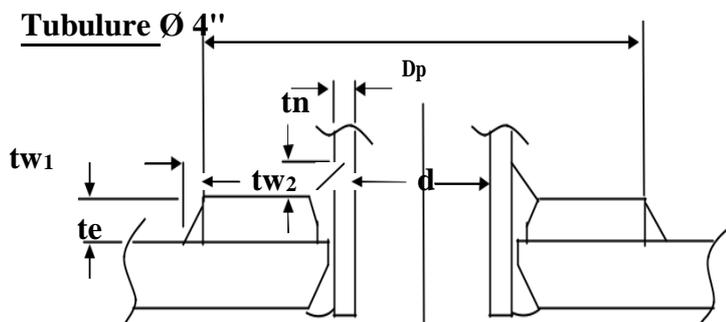


Fig.II.2.Tubulure Ø 4 "

Diamètre max du renfort $D_p = 2 \times d$ (\Oint int de la tubulure = 87,32) ≈ 175 mm
(sans surépaisseur de corrosion) = 93,32 mm

$$t_n \text{ (Epaisseur du tube)} = 13,49 \text{ mm}$$

$$t \text{ (Ep. de virole)} = 25 \text{ mm} \quad \text{Tolérance de formage} = 2 \text{ mm}$$

$$t_r \text{ (Epaisseur de la virole sans tolérance)} = 23 \text{ mm} \quad \text{Surépaisseur de corrosion} = 3 \text{ mm} \quad t_e \text{ (Epaisseur du renfort)} = 15 \text{ mm}$$

$$t_{r_n} \text{ (Surépaisseur de corrosion de part et d'autre du tube)} = 6 \text{ mm} \quad S_n \text{ (Contrainte admissible du tube)} = 1223,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_p \text{ (Contrainte admissible du renfort)} = 1223,24 \text{ kg/cm}^2 \quad S_v \text{ (Contrainte admissible de la virole)} = 1223,24 \text{ kg/cm}^2 \quad f_{r1} = f_{r2} = \text{(Facteur)} = S_n / S_v = 1$$

$$f_{r3} \text{ (Facteur)} = S_p / S_v = 1$$

$$F \text{ (Facteur de correction)} = 1$$

$$E_1 \text{ (Coéf. du } \text{\Oint} \text{ d'ouverture)} = 1$$

$$P \text{ (Pression de calcul interne)} = 20,39 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_{eg1} \text{ (} t_{w1} \text{ coté du cordon de soudure)} = 14 \text{ mm}$$

$$L_{eg2} \text{ (} t_{w2} \text{ coté du cordon de soudure)} = 18 \text{ mm}$$

II.7.1.2.1. Surface recommandée pour la pression interne :

$$A = d \times t_r \times F + 2 \times t_n \times t_r \times F \times (1 - f_{r1})$$

$$= 93,32 \times 23 \times 1 + 2 \times 13,49 \times 23 \times 1 \times (1 - 1)$$

Surface recommandée pour la pression interne est :

$$A = 2146,36 \text{ mm}^2$$

II.7.1.2.2. Surface du renforcement de la tubulure (S_{rt}) :

$$S_{rt} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

$$A_1 = d \times (E_1 \times t - F \times t_r) - 2 \times t_n \times (E_1 \times t - F \times t_r) \times (1 - f_{r1})$$

$$= 93,32 \times (1 \times 25 - 1 \times 23) - 2 \times 13,49 \times (1 \times 25 - 1 \times 23) \times (1 - 1)$$

$$= 186,64 \text{ mm}^2.$$

$$A_2 = 2 \times (t_n - t_{r_n}) \times (2,5 \times t_n + t_e) \times f_{r2} < 5 \times (t_n - t_{r_n}) \times f_{r2} \times t$$

$$= 2 \times (13,49 - 6) \times (2,5 \times 13,49 + 15) \times 1$$

$$= 720,90 \text{ mm}^2.$$

$$A_3 = 0$$

$$A_4 = l_{eg1}^2 \times f_{r3} = 14^2 \times 1$$

$$= 196 \text{ mm}^2.$$

$$A_4 = l_{eg2}^2 \times f_{r4} = 18^2 \times 1$$

$$= 324 \text{ mm}^2.$$

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n) \times t_e \times f_{r4}$$

$$= (175 - 93,32 - 2 \times 13,49) \times 15 \times 1$$

$$= 820,5 \text{ mm}^2.$$

II.7.1.2.3. Vérification du renforcement des trous d'homme (Ø 4") :

$$S_{rt} = (A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_5) \geq A [d \times t_r \times F + 2 \times t_n \times t_r \times F \times (1 - f_{r1})]$$

$$2248,04 \text{ mm}^2 \geq 2146,36 \text{ mm}^2 \implies \text{Ouverture suffisamment renforcée}$$

II.7.1.3. Renforcement Des Tubulures Ø 2" (C3, C4, C10, C12 Et C19) Ug 37.1 :

Tubulure Ø 2" :

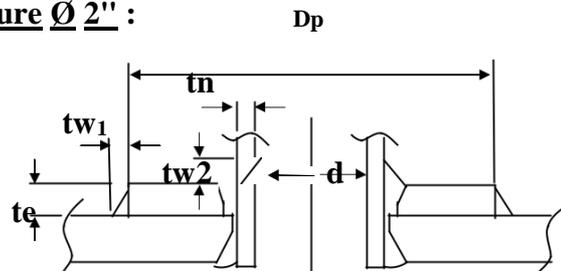


Fig. II.3. Tubulure Ø 2"

Diamètre max du renfort $D_p = 2 * d$ (Øint de la tubulure = 42,82) = (85,64)

≈ 100 mm

(sans surépaisseur de corrosion) = 48,82 mm t_n (Epaisseur du tube) = 8,74 mm

t (Ep. de virole) = 25 mm

Tolérance de formage = 2 mm

t_r (Epaisseur de la virole sans tolérance) = 23 mm Surépaisseur de corrosion = 3 mm t_e

(Epaisseur du renfort) = 15 mm

t_{rn} (Surépaisseur de corrosion de part et d'autre du tube) = 6 mm S_n (Contrainte admissible du tube) = 1223,24 kg/cm²

S_p (Contrainte admissible du renfort) = 1223,24 kg/cm² S_v (Contrainte admissible de la virole) = 1223,24 kg/cm² $f_{r1} = f_{r2}$ (Facteur) = $S_n / S_v = 1$

f_{r3} (Facteur) = $S_p / S_v = 1$

F (Facteur de correction) = 1

E_1 (Coéf. du Ø d'ouverture) = 1

P (Pression de calcul interne) = 20,39 kg/cm²

L_{eg1} (t_{w1} coté du cordon de soudure) = 14 mm

L_{eg2} (t_{w2} coté du cordon de soudure) = 18 mm

II.7.1.3.1. Surface recommandée pour la pression interne :

$$\begin{aligned} A &= d \times t_r \times F + 2 \times t_n \times t_r \times F \times (1 - f_{r1}) \\ &= 48,82 \times 23 \times 1 + 2 \times 8,74 \times 23 \times 1(1 - 1) \\ &= \mathbf{1122,86 \text{ mm}^2}. \end{aligned}$$

II.7.1.3.2. Surface du renforcement de la tubulure (S_{rt}) :

$$S_{rt} = A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 :$$

$$\begin{aligned} A_1 &= d \times (E_1 \times t - F \times t_r) - 2 \times t_n (E_1 \times t - F t_r) \times (1 - f_{r1}) \\ &= 48,82 \times (1 \times 25 - 1 \times 23) - 2 \times 8,74 \times (1 \times 25 - 1 \times 23) \times (1 - 1) \\ &= \mathbf{97,64 \text{ mm}^2}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2 \times (t_n - t_{rn}) \times (2,5 \times t_n + t_e) \times f_{r2} < 5 \times (t_n - t_{rn}) \times f_{r2} \times t \\ &= 2 \times (8,74 - 6) \times (2,5 \times 8,74 + 15) \times 1 \\ &= \mathbf{201,938 \text{ mm}^2}. \end{aligned}$$

$$A_3 = \mathbf{0}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= l_{eg1}^2 \times f_{r3} = 14^2 \times 1 \\ &= \mathbf{196 \text{ mm}^2}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= l_{eg2}^2 \times f_{r4} = 18^2 \times 1 \\ &= \mathbf{324 \text{ mm}^2}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2t_n) \times t_e \times f_{r4} \\ &= (100 - 48,82 - 2 \times 8,74) \times 15 \times 1 \\ &= \mathbf{505,5 \text{ mm}^2}. \end{aligned}$$

II.7.1.3.3. Vérification du renforcement des trous d'homme Ø 2" (C3, C4, C10, C12 Et C19) :

$$S_{rt} = (A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_5) \geq A [d \times t_r \times F + 2 \times t_n \times t_r \times F \times (1 - f_{r1})]$$

$1325,08 \text{ mm}^2 \geq 1122,86 \text{ mm}^2 \implies$ Ouverture suffisamment renforcée
--

III.1. Conception des cuves sous pression : [12]

Les équipements sous pression et plus particulièrement ceux contenant un gaz sous pression ou un liquide surchauffé, sont potentiellement dangereux. En cas de rupture de l'enveloppe, ils sont capables de libérer une énergie considérable pouvant provoquer d'importants dégâts.

Au commencement de l'ère industrielle, des réservoirs sous pression, construits sans règle établies, ont été la cause d'accidents dramatiques. Pour palier à cela, aux USA, l'association de constructeurs de chaudières, établi en 1887, les premières règles pour la construction des générateurs de vapeur, et en 1915, le premier code ASME (American Society of Mechanical Engineers) est publié. En France, la première version du CODAP est publiée en 1943.

Aujourd'hui de nombreux codes sont disponibles, pouvant être dédiés à certains types d'équipements:

En France:

- CODAP (pour les appareils non soumis à l'action d'une flamme)
- COVAP (pour les appareils soumis à l'action d'une flamme)
- CODETI (pour les tuyauteries)

AUX USA:

- ASME

Ces codes sont des méthodes de conception, mais aussi des méthodes de fabrication et d'inspection. Ils sont le fruit de l'expérience des fabricants, c'est pourquoi ils intègrent des facteurs de sécurité par rapport aux valeurs théoriques, et sont révisés régulièrement en fonction du retour d'expérience.

III.1.1. Sphère :

La forme sphérique est celle qui résiste naturellement le mieux à une pression intérieure. Elle nécessitera la plus faible épaisseur de matériau. Mais c'est aussi la forme la plus difficile à construire, et la plus encombrante à installer. Elle sera néanmoins réservée aux grandes capacités de gaz ou gaz liquéfiés sous pression pour lesquelles l'épaisseur d'acier doit être minimisée.



Fig.III.1. Cuve sphérique.

III.1.2. Ballons cylindriques :

Les formes cylindriques, bien que résistant plus difficilement à une pression interne ou externe, sont les plus courantes car les plus faciles à construire.

Ils sont constitués d'une virole cylindrique et de deux fonds. Pour les plus petits diamètres, la virole peut être constituée d'un tronçon de tube. Pour les plus grandes tailles, la virole cylindrique est construite à partir d'une tôle roulée et soudée. Pour autant son diamètre doit généralement respecter une valeur normalisée afin de pouvoir s'adapter aux fonds. Les fonds sont des pièces préfabriquées, standardisées, soudés à l'extrémité de la virole ou montés sur une bride.

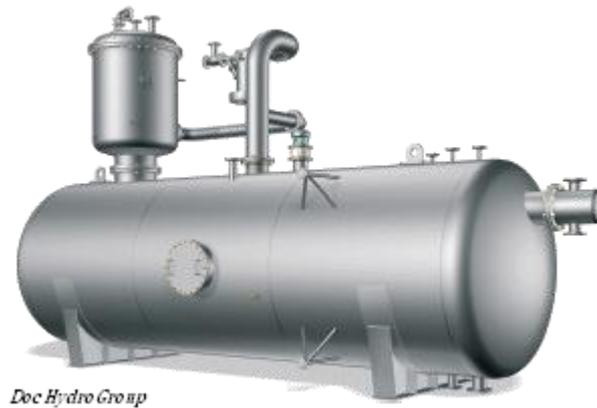


Fig.III.2. Cuve cylindrique.

III.1.3. Type de fonds :

Les fonds plats résistent mal à la pression. Les fonds adaptés aux appareils sous pression sont bombés.

On distingue trois familles de fonds bombés:

- fonds torisphériques
- fonds elliptiques
- fonds hémisphériques. Les fonds hémisphériques sont ceux qui résistent le mieux à la pression, mais ils sont les plus difficiles à fabriquer. Ils seront réservés aux pressions les plus élevées. Les fonds torisphériques ou en anse de panier se déclinent en plusieurs profondeurs; dans la normalisation française on distingue par ordre de résistance croissante à la pression:
 - fonds PRC (Petit Rayon de Carre) présentent une faible profondeur. Ils sont faciles à réaliser mais résistent mal à la pression. Ils font l'objet de la norme NF E 81-101
 - fonds MRC (Moyen Rayon de Carre). Ils font l'objet de la norme NF E 81-104
 - fonds GRC (Grand Rayon de Carre) ou Klopper. Ils font l'objet de la norme NF E 81-102 ou DIN 28011

En pratique, un compromis est fait entre coût de réalisation et épaisseur de paroi. Pour les appareils sous pression, les fonds GRC sont souvent préférés aux fonds PRC et MRC. Les fonds elliptiques, semi-elliptiques ou Korbogen ont une résistance intermédiaire entre GRC et hémisphérique. Ils font l'objet de la norme NFE 81-103, DIN 28013 ou ASME.

III.1.4. Piquages et raccords :

Les piquages sont des ouvertures dans la paroi de l'appareil destiné à permettre le remplissage ou la vidange des fluides, l'introduction d'éléments de mesure, ou la pénétration du personnel pour la maintenance et l'inspection.

D'un point de vue mécanique, ces ouvertures, si elles sont importantes, peuvent réduire la résistance à la pression de la paroi.

De même, plusieurs ouvertures rapprochées, même petites, peuvent affecter la résistance de la portion de paroi qui les séparent.

Les ouvertures pratiquées sont équipées d'une longueur de tube soudé perpendiculairement à la paroi. Ces tubes, qui peuvent ne mesurer que quelques centimètres de longueur, peuvent participer au renforcement local de la paroi. L'épaisseur de ce tube peut être augmentée par rapport au minimum requis, pour augmenter ce renforcement. Le renforcement de la paroi autour du piquage peut aussi être obtenu par soudage d'une épaisseur de tôle supplémentaire sur la virole de l'appareil. Les codes de construction définissent les critères de calcul dans les différentes situations. Les piquages sont destinés à être raccordés à des tuyauteries, des instruments de mesure ou d'autres équipements. Le raccordement aux tuyauteries peut éventuellement se faire directement par soudage. Mais le plus souvent un raccordement par bride est préféré.

Les brides sont des éléments forgés dont les dimensions sont normalisées, tout comme les tubes qui les supportent. Elles sont définies par leur diamètre, leur résistance à la pression, et le type de joint d'étanchéité qu'elles acceptent. Leur résistance à la pression dépend de la température de travail. Les brides sont définies dans les normes ASME B16.5, EN 1759-1, NF E 29-203, ISO 7005, EN 1092-1.

III.2. Qualification d'une procédure de soudage d'un équipement sous pression : [13]

Avant de procéder au soudage en atelier, d'un équipement sous pression, on doit s'assurer au préalable que toutes les précautions liées à la sécurité et la qualité (résistance mécanique pour éviter la rupture fragile) de la fabrication sont satisfaisantes. Parmi ces précautions, on doit veiller à ce que le procédé et les procédures de soudage, en particulier, à mettre en œuvre répondent aux exigences du code ASME Section IX, qui est dédié à la qualification des procédures de soudage et des soudeurs. Ceci, s'applique dans le cas du soudage d'un équipement sous pression neuf (en atelier). Mais une fois cet équipement est mis en exploitation depuis une période donnée et qu'il ait présenté un défaut notable, il doit être réparé en suivant les mêmes règles d'assurance de la qualité et de la sécurité, c'est-à-dire utiliser des procédures de réparation qualifiées. Dans ce cas, nous signalons que ce n'est plus le code ASME Section IX, seulement, qu'il faut appliquer, mais d'abord le code API 510 qui est dédié pour l'inspection et la réparation des équipements déjà mis en service. Alors, quand on a à réparer un équipement en service, on doit utiliser les mêmes procédures déjà qualifiées lors de la fabrication d'origine en respectant rigoureusement les limites des variables de soudage qualifiées. Dans beaucoup de cas, rencontrés dans l'industrie du GNL, lorsque les épaisseurs soudées sont importantes et lorsque la composition chimique du matériau soudé est susceptible à la création des contraintes résiduelles de niveau élevé, tous les codes recommandent de pratiquer des traitements thermiques après soudage pour atténuer, entre autres, ces contraintes résiduelles qui sont responsables de la naissance des fissures pouvant conduire à la rupture des équipements sous pression. Mais, puisqu'on cherche constamment à réduire les coûts de la maintenance et les risques encourus, il faut savoir que les traitements thermiques après soudage exécutés sur site sont difficiles à réaliser, onéreux et exigent beaucoup de dextérité pour être bien conduits et aboutir aux résultats escomptés. Par ailleurs, il faut savoir aussi que les traitements thermiques après soudage sont considérés par le code ASME Section IX comme étant une variable essentielle dont l'annulation ou la modification impose de requalifier la procédure de soudage. Le code API 510 nous permet de répondre à ces impératifs, à savoir assurer la qualité et la sécurité de l'opération de réparation par soudage, et, éviter les traitements thermiques après soudage, qui sont coûteux et difficiles à réaliser sur site. Il nous recommande, pour ce faire, une technique de soudage appropriée à suivre étape par étape, et qui présente plus d'avantages que d'inconvénients. A cet égard, nous proposons, dans le présent travail, d'élaborer sur la base des recommandations du code API 510 et en conformité du code ASME Section IX, une procédure de soudage en déterminant toutes les variables de soudage à mettre en exécution pour avoir une procédure de réparation qualifiée et disponible à utiliser à chaque fois que nous avons à réparer un équipement dit sous pression de gaz (soumis à la réglementation), sans pratiquer des traitements thermiques après soudage.

III.3. Exemple de carte de soudure d'une cuve sous pression : [14]

Voici une cuve sous pression typique en acier soudé. La partie cylindrique est constituée d'une plaque plate enroulée en cercle puis soudée (JointsA). Ces joints doivent résister à la contrainte du cerceau. Les joints verticaux (JointsB) ne gèrent que les contraintes axiales, soit la moitié de la contrainte de cercle. Les extrémités sont pressées pour former une forme partiellement sphérique (hémisphère complet aurait la moitié de la contrainte du cylindre – elles forment donc un ellipsoïde, qui est également beaucoup plus facile à mettre en forme).

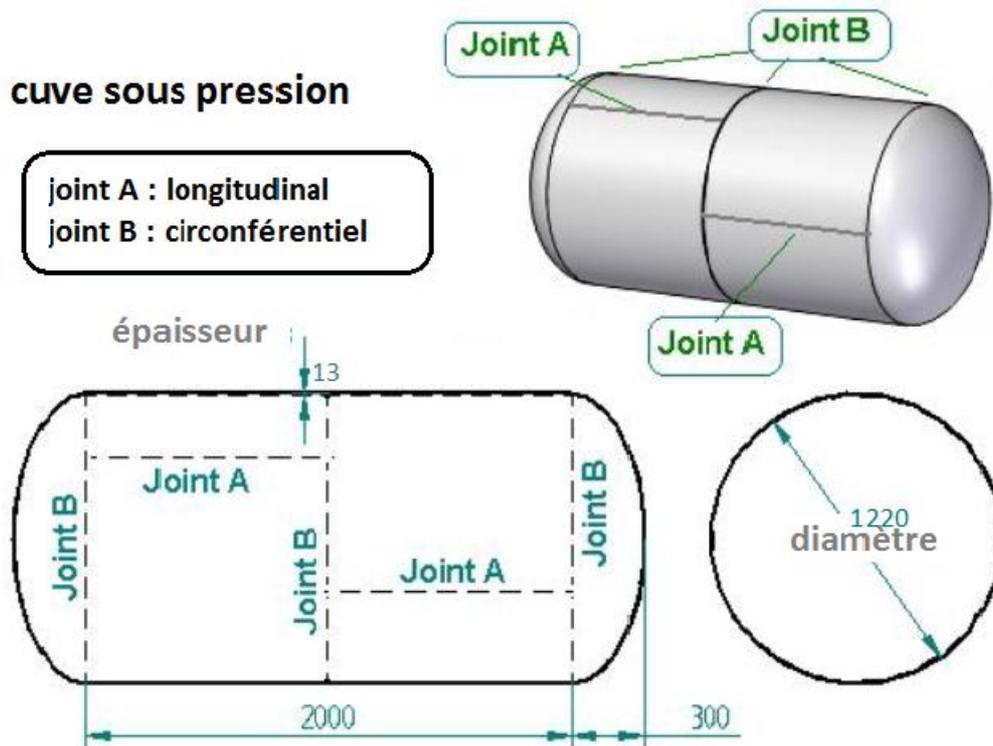


Fig. III.3. Exemple de carte de soudure d'une cuve sous pression.

III.4. Soudage :

III.4.1. Définition : [15]

Le soudage est une opération qui assemble deux éléments métalliques, par fusion et re-solidification. Il permet d'assurer la continuité mécanique entre les parties à assembler avec ou sans l'aide d'un produit d'apport réalisant un meilleur lien entre les pièces. Dans le cas de l'utilisation d'un métal d'apport, ce composé doit avoir des propriétés au moins égales à celle des matériaux à assembler et une température de fusion du même ordre de grandeur que ces matériaux.

Le soudage est également une opération de métallurgie locale consistant à exécuter un cordon fondu liant les bords de deux pièces; On le nomme homogène quand ces deux pièces, ainsi que l'état du métal d'apport du joint, ont une composition chimique identique ou voisine, et hétérogène dans les autres cas. Il constitue un moyen privilégié d'assemblage pour toute construction faisant intervenir des matériaux métalliques. Son but est d'assurer la continuité de la matière à assembler. Dans le cas des métaux, cette continuité est réalisée à l'échelle de l'édifice atomique.

Les assemblages soudés se distinguent des assemblages boulonnés, rivetés, agrafés...etc. par la continuité qu'ils assurent et l'absence de possibilité de jeu. Ils sont probablement les plus utilisés, autant en grande série (carrosserie...), qu'en pièce unitaire (cuve de centrale), et nécessitent un apport de chaleur.

III.4.2. Caractéristiques de la soudure :

Le soudage permet d'assembler de façon permanente deux ou plusieurs éléments, tout en assurant entre eux la continuité de la matière. On distingue le soudage autogène et le brasage ou soudo-brasage.

- Soudage autogène: les pièces à assembler, de même nature ou de composition voisine, participent à la constitution du joint ou de cordon de soudure. L'assemblage est dit homogène.
- Brasage et soudo-brasage : l'assemblage est hétérogène ; La formation du joint ou cordon est assurée par la seule intervention du métal d'apport qui agit comme une colle. La

température de fusion du métal d'apport est inférieure à celle des matériaux à souder qui peuvent être de nature différente. Après la préparation des éléments à assembler et l'utilisation du soudage, on obtient après solidification, un joint homogène de même composition que le métal de base (soudage autogène) ou un joint hétérogène dans le cas des métaux différents (brasage ou soudo-brasage) [16].

Le procédé de soudage par fusion permet de décrire la structure typique d'un alliage, qui est composée de quatre (04) zones principales [17] :

- Métal de base,
- Zone affectée thermiquement,
- Zone de liaison,
- Zone fondue.

Le Métal de Base MB ne subit ni déformation, ni modification structurale, ni échauffement important grâce à son éloignement de la zone soudée ; Il conserve ses propriétés et sa microstructure d'origine. Bien qu'au sens métallurgique, il est inchangé. Les zones du joint de soudure, sont des lieux de concentration des contraintes résiduelles transversales et longitudinales dépendant du degré du retrait imposé par la chaleur.

La zone affectée thermiquement (ZAT) est la zone où la température est comprise entre le solidus et une température plus basse mais qui reste suffisamment élevée pour permettre des réactions ou des transformations à l'état solide, et pour modifier la structure du métal de base. Sa texture granulaire est identique à celle du métal de base [18].

La zone fondue (ZF) est la région chauffée au-dessus de la température du liquidus. La structure du métal de base initiale est changée par les processus de fusion et de solidification. La composition peut également varier par évaporation de certains éléments de l'alliage.

Un mélange complet des éléments est obtenu par les mouvements de convection forcée. [19].

La zone étroite à l'extrémité du bain de fusion représente la zone (non mélangée): dans cette zone les forces de convection étant inférieures aux forces de friction des fluides, la composition chimique reste identique à celle du métal de base. Même si cette zone est présente dans toutes les soudures, elle n'est facilement visible que dans les soudures utilisant un métal d'apport de composition chimique différente du métal de base. Le bain de fusion est délimité par l'interface de soudure qui concerne la surface formant clairement la frontière entre le métal de base non fusionné et le métal de la soudure solidifiée. Directement adjacente à l'interface de soudure, se trouve une zone de liaison.

Ces zones sont représentées dans la figure (III.4).

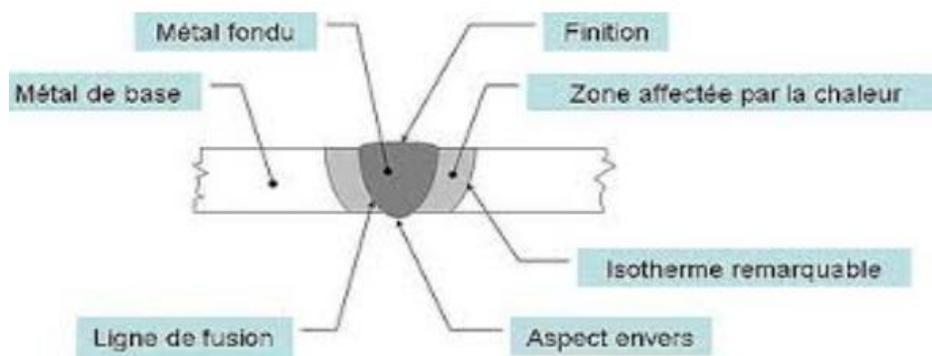


Fig.III.4. Zones principales d'un cordon de soudure par fusion.

Comme citées précédemment, des modifications de la structure métallurgique et des propriétés locales apparaissent lors du procédé de soudage. La forme et la constitution de la zone de fusion dépendent de plusieurs paramètres qui peuvent influencer sa morphologie.

On cite les caractéristiques de l'arc, la nature du matériau à souder et les mouvements du bain de fusion.

Une mauvaise application de ces paramètres peut entraîner des défauts tels que des fissures (à chaud, à froid ou au réchauffage).

III.4.3. Les différentes techniques de soudage : [20]

Soudure avec métal d'apport :

- Arc électrique.
- Electrode enrobée.
- MIG – MAG.
- TIG.
- Sous flux solide.
- Brasage.

III.4.3.1. Soudage à l'arc électrique : (Fig.III.5.)

- **Principe :**

En soudage à l'arc, l'énergie calorifique est produite par un arc jaillissant entre une électrode et les pièces à assembler. Le métal d'apport est constitué de l'électrode elle-même ou par une baguette indépendante (dans ce cas, l'électrode en matériau réfractaire) est oxydation et protection :

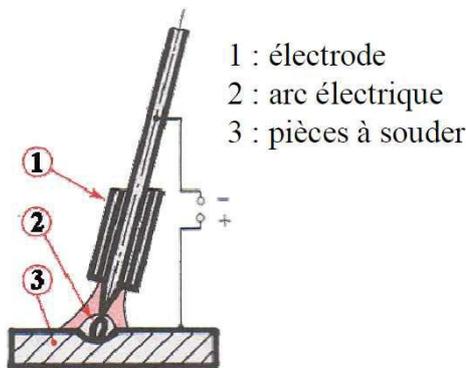


Fig.III.5. Soudage à l'arc électrique.

A haute température, l'oxygène de l'air vient oxyder les matériaux soudés. Il faut donc protéger le cordon de soudure en l'isolant soit par un flux solide soit par une barrière gazeuse. Modes de protection contre l'air ambiant :

Tableau.III.1. Technologie du soudage avec électrode.

	Electrode fusible c'est l'électrode qui compose le métal d'apport en fondant	Electrode réfractaire le métal est amené par une baguette différente de l'électrode
Protection par atmosphère (gaz)	MIG : metal inert gas MAG : metal actif gas	TIG : tungsten inert gas
Protection par flux solide	Electrode enrobée Sous flux solide	

III.4.3.2.Soudage à l'électrode enrobée :(Fig. III.6).

L'arc jaillit entre une électrode fusible et les pièces à souder, assurant le transfert de chaleur et l'apport du métal. L'enrobage forme un laitier qui recouvre le cordon de soudure en fin d'opération et le protège ainsi de l'oxydation.

Épaisseur de 2 à 20 mm ou plus

- Aciers, base nickel, mais ni le cuivre ni l'aluminium.
- Procédé très courant mais en régression.

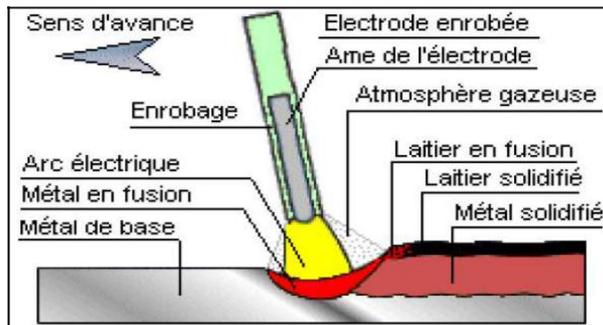


Fig.III.6. Soudage à l'électrode enrobée.

III.4.3.3.Soudage MIG – MAG :(Fig.III.7).

Un arc électrique est établi entre l'extrémité d'une électrode consommable et le substrat, sous protection gazeuse. L'électrode se présente sous la forme d'un fil massif ou fourré, de diamètre 0,6 à 1,6 mm ; le choix du gaz protecteur est déterminé par la nature du ou des matériaux à souder.

MIG : Métal Inert Gas le gaz inerte protecteur est de l'argon.

MAG : Métal Actif Gas le gaz protecteur est du CO₂.

Épaisseur de 0,5 à 20 mm ou plus.

- Toutes les bases cuivre ou aluminium en MIG / Tous les aciers en MAG.
- Procédé très courant mais plus coûteux que l'électrode enrobée (coût relatif de 2 fois).

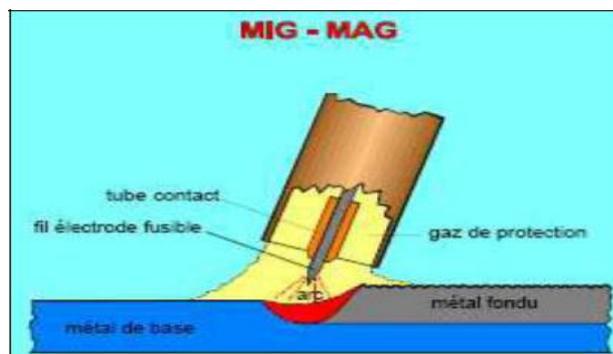


Fig.III.7. Soudage MIG –MAG.

III.4.3.4.Soudage TIG :(Fig. III.8. et III.9).

Un arc électrique est établi entre l'extrémité d'une électrode en tungstène et le substrat, sous protection gazeuse (Argon) qui permet de protéger le cordon de soudure de l'oxydation. Les opérations d'assemblage peuvent être réalisées avec ou sans métal d'apport en manuel, ou dans le cadre d'un système automatisé.

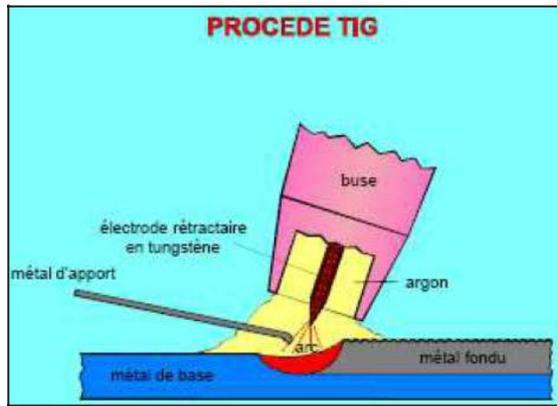


Fig. III.8. Soudage TIG.

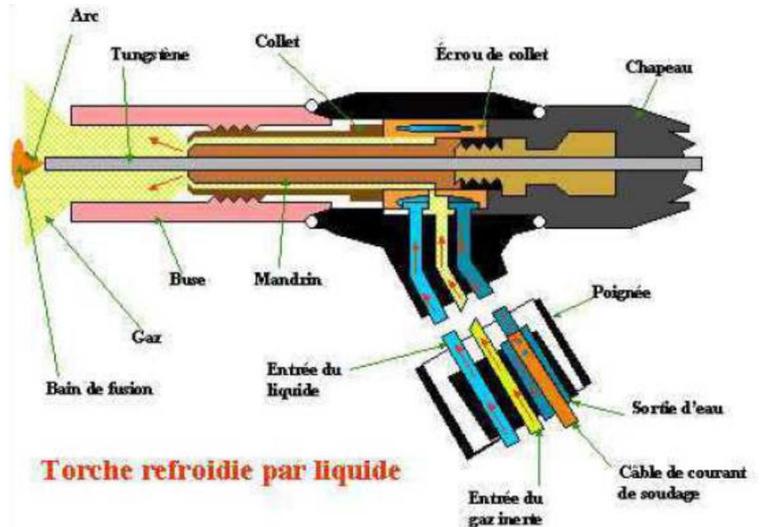


Fig. III.9. Torche refroidie par liquide.

Utilisé pour les travaux soignés sous faible épaisseur – pour les épaisseurs supérieures à 5 mm, il est utilisé conjointement à un autre procédé

- Aciers inoxydables, aluminium, cuivre, nickel, titane, zirconium, etc.
- Faible taux de dépôt – difficile à automatiser
- Coût relatif d'un équipement : de 3 à 10.

III.4.3.5.Soudage à l'arc sous flux solide :(Fig. III.10. et III.11).

Un arc électrique est établi entre une électrode continue et le substrat, sous une couche de flux qui permet de protéger ce dernier de l'oxydation. Généralement, le laitier se détache de lui-même et l'excédant de flux est récupéré pour être recyclé.

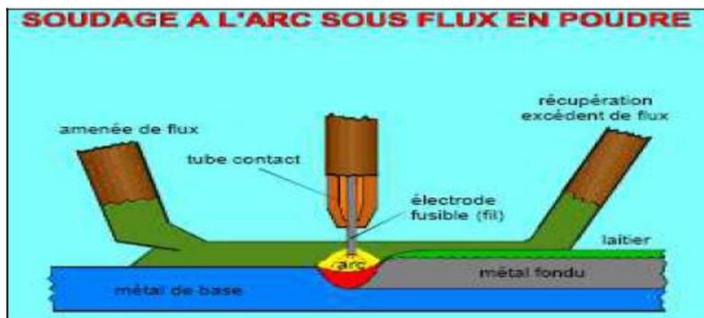


Fig. III.10. Soudage à l'arc sous flux en poudre

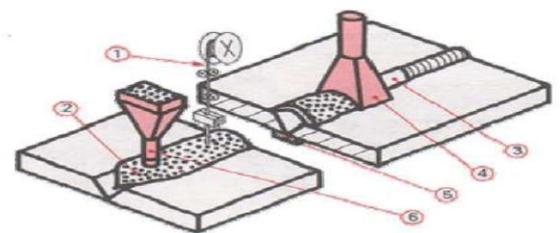


Fig. III.11.Soudage à l'arc sous flux en solide

Utilisé pour le remplissage des chanfreins ou le travail à grande vitesse :

- Déposer couramment plus de 15 kg à l'heure.
- Très utilisé pour réaliser des revêtements déposés par soudage.
- Coût relatif d'un équipement : de 50 à 100.

III.4.3.6. Brasage (soudage à la flamme) : (Fig. III.12.)

Le brasage permet la jonction entre des alliages métalliques, à l'aide d'un métal d'apport dont le point de fusion est inférieur à celui (ou ceux) du (ou des) métal (aux) de base. Le chauffage à une température suffisante pour fondre le métal d'apport provoque « l'accrochage » de celui-ci avec le métal de base grâce au phénomène de diffusion.

Les figures suivantes mettent en évidence la distinction entre le brasage et le soudage classique qui occasionne une forte dilution entre le métal de base et le métal d'apport.

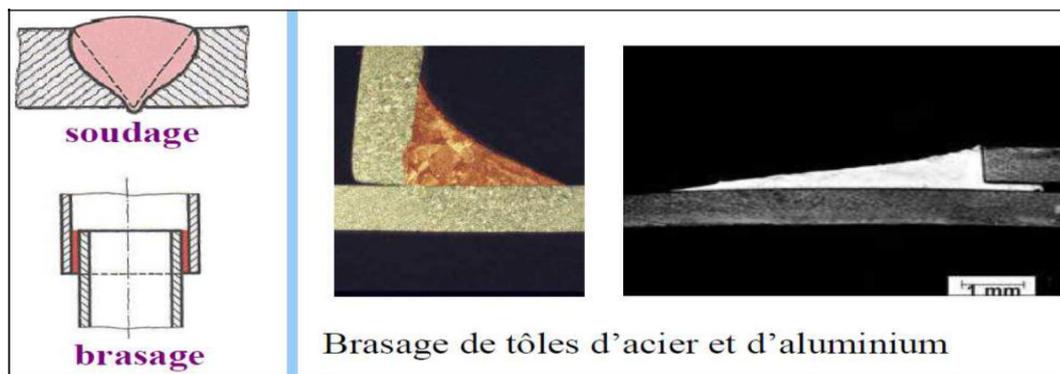


Fig. III.12. Soudage à la flamme (brasage).

- Brasage : assemblage de chaudronnerie, tôles ou pièces peu épaisses.
- Aciers, aluminium, cuivre, alliages....
- Coût relatif d'un équipement : 1 ;
- Pour les pièces épaisses, assemblage par soudo-brasage.



III.4.4. Principaux métaux pour soudage : [20]

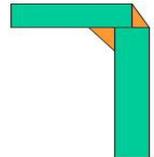
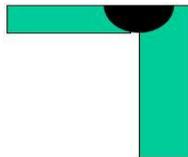
Aciers : Les aciers à faible teneur en carbone ($C < 0,25$ Va) se soudent sans précaution particulière. Les difficultés de soudage augmentent avec la masse des pièces ou avec la teneur en carbone.
Aluminium E7 alliages légers : On évite de souder les alliages à traitement thermique (fragilité du métal au voisinage de la soudure). On soude principalement les métaux suivants : ✓ Al 99, 5 — Al Mg 5 — Al Mg 4; ✓ cuivre et alliages cuivreux .

III.4.5.Types de soudures et Forme de joint : [21]

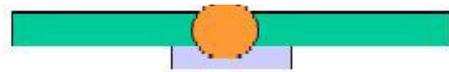
Soudures bout à bout sur pièces chanfreinées en :



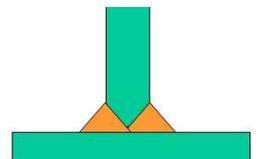
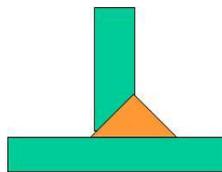
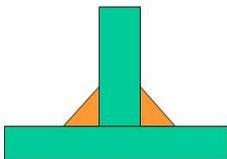
Assemblages en angle extérieur et intérieur :



Assemblage bout à bout avec latte support :



Soudure sur assemblage en T :



Assemblages par recouvrement :

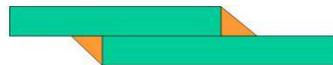


Fig.III.13.Technologie des différents types de soudage selon les normes ISO.

III.4.6. Classification des défauts dans les assemblages soudés : [21]

Les défauts sont classés en six groupes:

- Fissures.
- Cavités(Soufflures).
- Inclusions solides.
- Manque de fusion et de pénétration.
- Défauts de forme et défauts dimensionnels.
- Défauts divers.

III.4.6.1. Défauts de fissures :

Types de fissures fréquentes :

- Fissure longitudinale (Figure 14).
- Fissure transversale (Figure 15).
- Fissure de cratère (Figure 16).

Causes des fissures :

Les fissures peuvent-être dues :

- Contraintes excessives pendant le soudage (énergie trop élevée, refroidissement trop rapide, métal d'apport non adapté...).
- Volume de cordon trop faible (préparation des bords trop étroite...).
- Arrêt trop brutal de la soudure.
- Arrêt prématuré de la protection gazeuse en TIG.

Remèdes contre les fissures :

- Choisir un métal d'apport approprié.
- Adopter un préchauffage approprié.
- Effectuer une bonne préparation des joints.

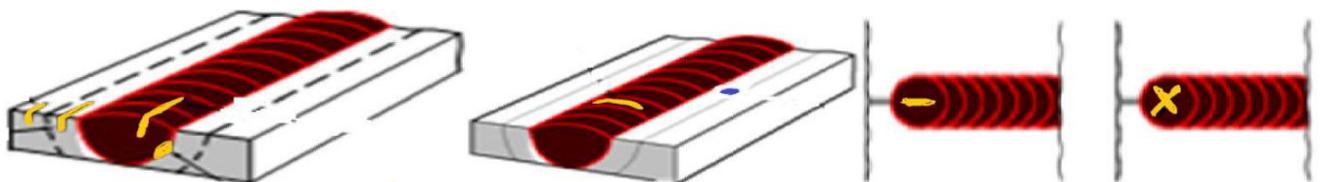


Fig. III.14. Fissure longitudinale. Fig. III.15. Fissure transversale Fig. III.16. Fissure de cratère.

III.4.6.2. Défauts de soufflures ou cavités :

Types de soufflures fréquentes :

- Soufflure sphéroïdale isolée (Figure 17).
- Nid de soufflures (Figure 18).
- Soufflures vermiculaires (Figure 19).

Causes des soufflures:

- Courants d'air.

- Manque de gaz de protection.
- Débit de ce gaz trop faible.
- Présence de graisse ou de l'huile sur le métal de base ou le métal d'apport.
- Buse encrassée.
- Mauvais angle de soudage qui entraîne.
- Une mauvaise protection gazeuse.
- Impuretés dans le joint à souder.

Remèdes contre le défaut de soufflures:

- S'assurer que la surface du métal de base et d'apport est propre et non gras ;
- Vérifier la protection gazeuse ;
- Intensité de courant trop faible et une vitesse de soudage trop élevée peut entraîner ce défaut;
- Piqûres sont généralement causées par le contact entre l'électrode et le métal de base.

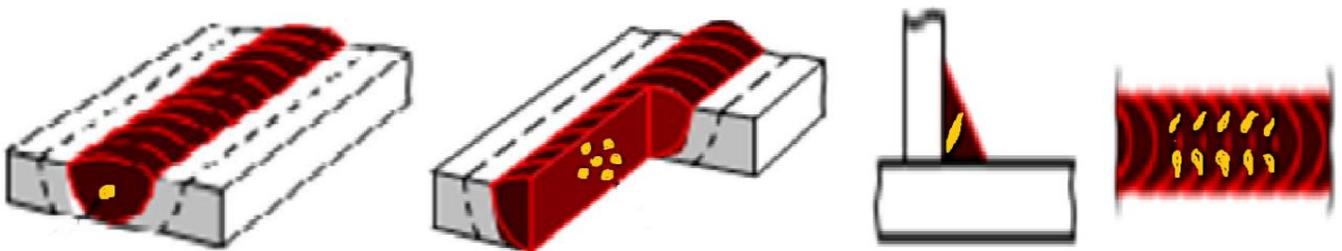


Fig.III.17.S.sphéroïdale isolée. Fig.III.18.Nid de soufflures Fig.III.19.S.vermiculaires.

III.4.6.3.Défaut d'inclusions :

En soudage, les inclusions désignent des corps étrangers présents au cœur du cordon.

Types d'inclusions fréquentes :

- Inclusion solide : corps étranger inclus dans le cordon de soudure.
- Inclusion de laitier : morceau de laitier inclus dans le cordon de soudage. (Figure 20).



Fig.III.20.Morceau de laitier inclus dans le cordon de soudage.

III.4.6.4. Défaut de manque de fusion et pénétration :

III.4.6.4.1. Défaut de manque de fusion :

- Manque de fusion des bords à souder.
- Manque de fusion entre les passes.
- Manque de fusion à la racine. (Figure 21).

Causes des défauts de collage :

- Angle du chanfrein trop étroit.
- Mauvaise orientation des électrodes.

Remèdes:

Mettre en œuvre un DMOS adapté.



Fig.III.21. Manque de fusion à la racine.

III.4.6.4.2. Défaut de pénétration :

Les défauts de pénétration peuvent-être des manques ou des excès de pénétration. L'excès de pénétration est un surplus de métal à la racine de la soudure ou un excès dans la passe précédente. (Figure 22).

Causes des défauts de manque de pénétration :

- Jeu de soudage trop petit (pièces trop rapprochées).
- Vitesse d'avance trop élevée.
- Intensité trop faible.
- Métal de base trop froid.

Remèdes:

- Agrandir l'écart des pièces à souder.
- Souder plus doucement.
- Augmenter l'intensité.
- Préchauffer les pièces.

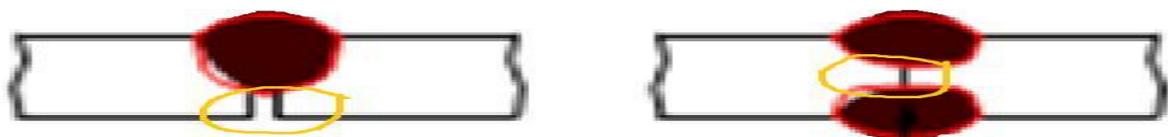


Fig.III.22. Soudure ou un excès dans la passe précédente.

III.4.6.5.Morsures et caniveaux : (Figure 23 et 24)

Causes :

- Vitesse d'avance trop faible ;
- L'intensité élevée.

Remèdes :

- Réduire intensité,
- Augmenter la vitesse d'avance,
- Augmenter la longueur d'arc.

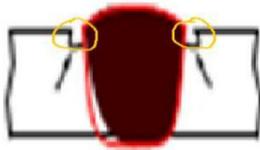


Fig.III.23.Morsures.



Fig.III.24.Caniveaux.

III.4.6.6.Défauts géométriques des cordons :

III.4.6.6.1.Défaut de convexité :

Il s'agit d'un excès de matière sur la longueur de la soudure, ou localisé. Les normes imposent des limites d'épaisseur pour le cordon. Si le cordon est trop bombé et dépasse ces limites, alors il y a défaut de convexité. (Figure 25).

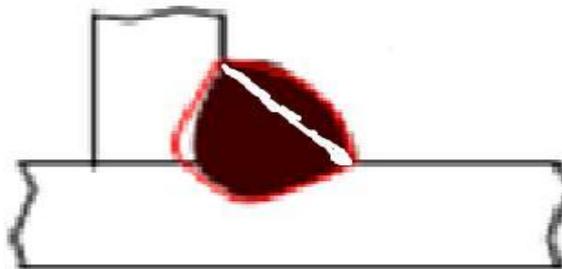


Fig.III.25.Défaut de convexité.

III.4.6.6.2. Défaut de concavité :

Il s'agit d'un manque de matière sur la longueur de la soudure, ou localisé. Si le cordon est trop creux et dépasse les limites des normes, alors il y a défaut de concavité. (Figure 26).



Fig.III.26.Défaut de concavité.

III.4.6.6.3. Défaut d'alignement :

Lorsque les pièces sont mal bridées et/ou le pointage insuffisant, on peut avoir un défaut d'alignement. (Figure 27)

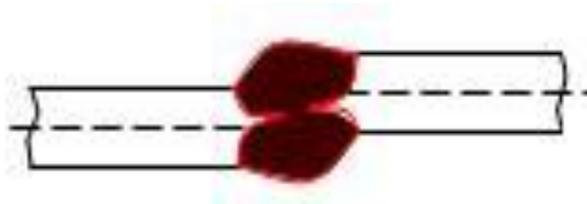


Fig.III.27. Défaut d'alignement.

III.4.6.6.4. Déformations angulaires :

Les déformations importantes de l'opération de soudage peuvent aussi entraîner un défaut angulaire. Les pièces assemblées ne respectent pas la forme souhaitée. (Figure 28)

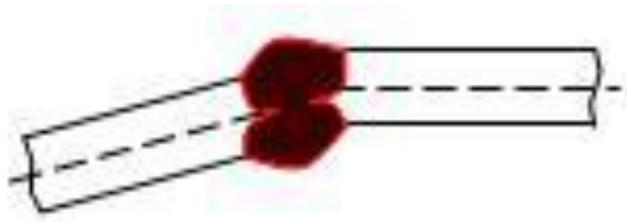


Fig.III.28. Déformations angulaires.

III.4.6.6.5. Projection : (Figure 29)

Causes :

- Courant de soudage trop élevé ;
- Arc trop long. Mauvaise polarité ;
- Électrode défectueuse.

Remèdes :

- Réduire le courant de soudage ;
- Réduire la longueur d'arc ;
- Utiliser des électrodes correctes. Si nécessaire, ouvrir un nouveau carton.

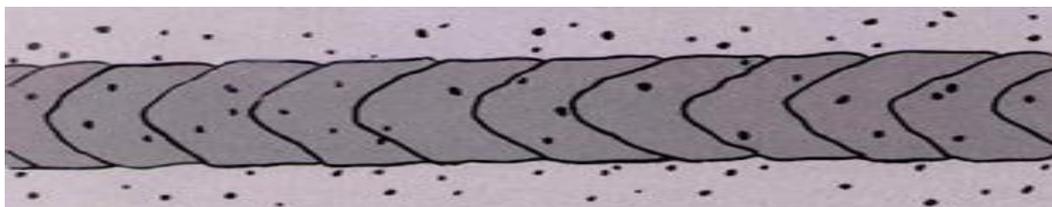


Fig.III.29. Projection.

III .5.Défauts détectés sur la cuve :

III .5.1.Défauts détectés sur la cuve de la centrale belge de Doel : [22]

En juin 2012, des contrôles ont été effectués sur la cuve de la centrale de Doel. Pour la première fois en Belgique, l'intégralité de la surface interne de la cuve en zone de cœur – c'est-à-dire de la partie cylindrique au droit du cœur – a été inspectée par ultrasons comme c'est le cas en France. Ces contrôles visaient à rechercher des défauts sous revêtement (DSR). D'après les éléments portés à la connaissance de l'IRSN, ces contrôles ont mis en évidence des indications qui ont été considérées par l'exploitant comme étant dues à des défauts localisés dans l'acier de la cuve. Ces indications, orientées plus ou moins parallèlement à la paroi interne de la cuve, sont en très grand nombre. Ces deux éléments et la localisation tendraient à attribuer ces indications à des défauts dus à l'hydrogène (DDH - voir figure (31) ; leur origine pourrait être liée au taux d'hydrogène présent dans le métal lors de la fabrication par l'entreprise néerlandaise RDM. Il convient de rappeler que cette entreprise, qui n'existe plus aujourd'hui, n'a pas fabriqué de viroles pour les cuves des centrales françaises.

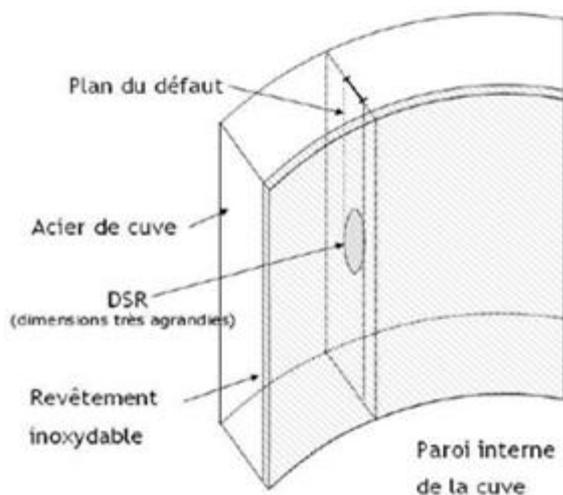


Fig.III.30.Défaut sous revêtement.

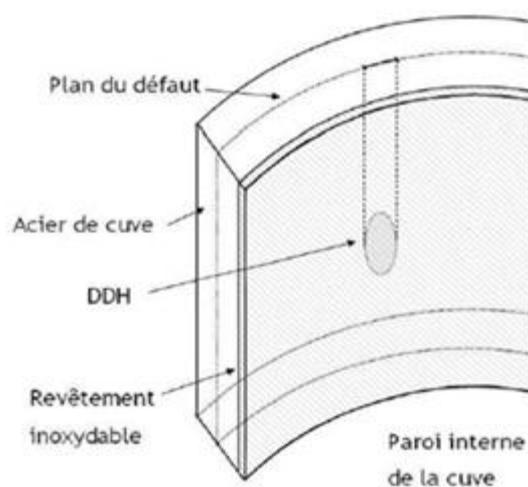


Fig.III.31.Défaut dû à l'hydrogène.

III .5.2.Défauts de type DDH dans le cas du parc français : [22]

Ces défauts peuvent apparaître lorsque le taux d'hydrogène dissous dans le métal est trop élevé localement ; ils sont en général associés à des zones de ségrégation. Ils se produisent sous forme de multiples microfissures orientées presque parallèlement à la paroi interne de la cuve. Pour éviter l'apparition de ces défauts, le taux d'hydrogène est contrôlé à la coulée et un traitement thermique spécifique est réalisé lors du forgeage pour réduire autant que faire se peut le taux d'hydrogène dans la pièce métallique. Au cours des cinquante dernières années, seules quelques pièces destinées au parc électronucléaire français ont présenté ponctuellement des DDH et ont été mises au rebut suite aux contrôles réalisés par le fabricant. Une recherche a été effectuée récemment par l'exploitant et le constructeur sur la base des documents de fabrication des cuves françaises. Les éléments actuellement disponibles ne conduisent pas à suspecter la présence de nombreux défauts de type DDH, compte tenu des dispositions et des contrôles de fabrication effectués depuis l'origine sur les cuves du parc français.

III.6.Principales caractéristiques de conception et de contrôle des cuves : [22]

La cuve constitue une partie de la deuxième barrière de confinement des éléments radioactifs (la première est la gaine des assemblages combustibles et la troisième l'enceinte de confinement) et son rôle pour la sûreté de l'installation est primordial. Son intégrité doit être assurée et justifiée dans toutes les situations de fonctionnement et pour toute la durée de son exploitation.

La cuve constitue un élément essentiel du circuit primaire des centrales électronucléaires. C'est un composant considéré comme « non ruptible » et en conséquence, sa conception, sa fabrication, sa réception et son suivi en service font l'objet de dispositions de contrôle particulièrement exigeantes. Contrairement à d'autres appareils du circuit primaire, comme les générateurs de vapeur ou les couvercles de cuve, le remplacement d'une cuve n'est pas une opération envisagée par EDF. La durée de vie de l'installation est en conséquence directement liée à la justification de l'aptitude à l'emploi de la cuve.

Ces cuves sont en acier et sont composées de différentes pièces élémentaires. La figure ci-dessous détaille l'ensemble des pièces constitutives d'une cuve française. Les pièces élémentaires (viroles, anneau, brides, tubulures et calottes) ont été obtenues par laminage pour quelques-unes d'entre elles, comme certaines calottes de couvercle ou de fond de cuve, et par forgeage pour toutes les autres pièces.

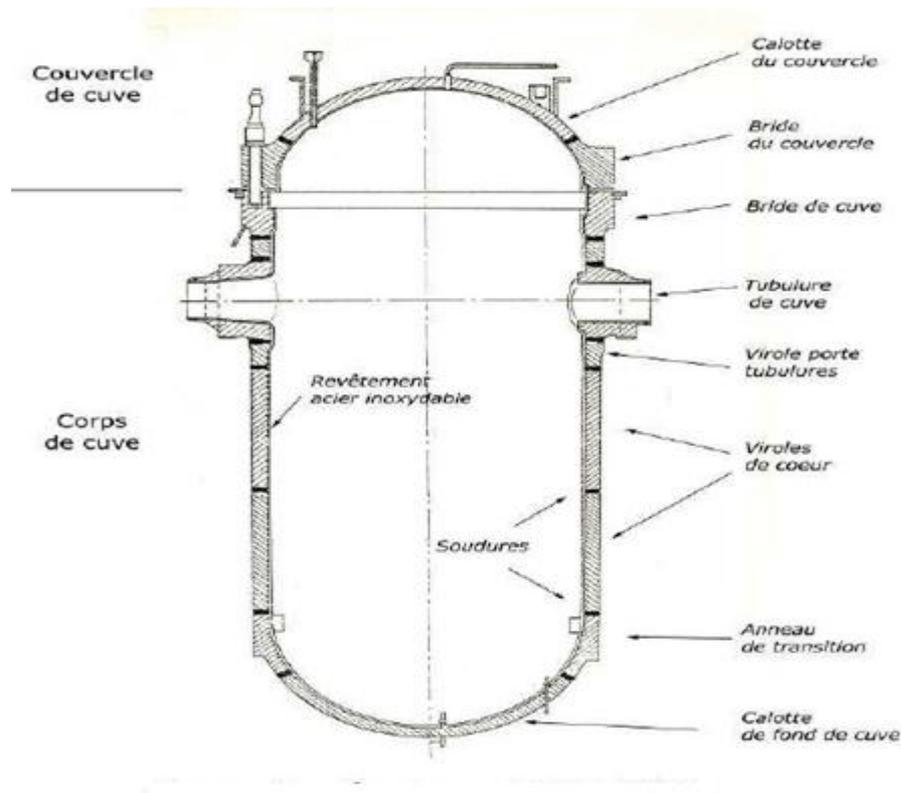


Fig.III.32.Pièces constitutives d'une cuve française.

Les différentes pièces constitutives sont assemblées par soudage. Les cuves françaises ne comportent que des joints soudés circonférentiellement. Elles comprennent deux viroles dites de cœur mis à part la cuve de la centrale de Fessenheim qui en comporte trois. Les cuves des paliers 900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe sont similaires et comportent le même nombre de pièces constitutives. La totalité de la surface intérieure des cuves est revêtue d'acier inoxydable d'environ 8 mm d'épaisseur déposé par soudage en deux couches. Ce revêtement assure une protection contre la corrosion. La dimension des cuves augmente avec la puissance des cœurs comme indiqué dans le tableau ci-dessous qui résume les principales caractéristiques de la zone de cœur des cuves françaises.

Tableau.III.2 : Caractéristiques dimensionnelles des viroles des cuves françaises.

	Fessenheim 1	900 MWe	1300 MWe	1450 MWe	EPR
Nombre de viroles	3	2	2	2	2
Diamètre interne (mm)	3988	3988	4394	4486	4885
Epaisseur virole (mm)	200	200	220	225	250
Hauteur d'une virole au	1479	2370	2383	2370	2362

cœur (mm)					
Masse de la cuve (t)	330	330	440	460	510

III.6.1. Contrôle des soudures : [23]

Une soudure normalement exécutée doit être au moins plus solide que les pièces de métaux qu'elle Unit. Elle doit pouvoir résister aux sollicitations auxquelles elle a été calculée dans les conditions de service prévues. Cela suppose qu'elle est exempte de défauts graves, qui rendraient la structure, dont elle fait partie, impropre à l'usage pour lequel elle est destinée. Certaines soudures ne peuvent pas être mises en service prévu, car elles comportent des défauts plus au moins graves provenant de leur exécution. Il est donc important de définir ces différents défauts ainsi que leurs principales causes d'apparition et les moyens à mettre en œuvre pour les éviter. Il y'a lieu de distinguer entre contrôles à la fabrication et contrôles en service. Les premiers ont pour objet de rejeter ou d'accepter (après éventuelles réparations) les pièces contrôlées. Les seconds visent à s'assurer que la structure reste apte à fonctionner après un certain temps de service. La réalisation d'une telle soudure, demande différentes sortes de contrôles, avant, pendant et après l'opération de soudage :

III.6.1.1. Contrôle avant le soudage :

Le contrôle avant le soudage a pour but de prévenir des défauts. Il portera sur :

- Qualité du métal.
- Préparation des pièces a soudées.

Les traitements thermiques (post et préchauffage, maintien en température).

- Matériel de soudage (état, puissance, réglage).
- Qualification du soudeur.

III.6.1.2. Contrôle au cours du soudage:

Le contrôle au cours de soudage a pour but de s'assurer que les règles d'une bonne exécution du joint sont bien respectées. Il portera sur :

- Nature et la dimension du métal d'apport.
- Réglage de l'appareil du soudage.
- Etat du joint réalisé.
- Disposition des passes nombre et sens de réalisation.
- Déformations.
- Maintien en température.

III.6.1.3. Contrôle après le soudage :

Ces contrôles ont un double but, soit la vérification de la soudabilité à partir des essais qui doivent être exécutés dans les mêmes conditions que l'ensemble à réaliser (procédés, matériaux, épaisseurs, paramètres, séquences et main-d'œuvre), soit la vérification de la qualité des joints par un contrôle effectué soit sur la totalité des soudures, soit localement dans les zones les plus propices à l'apparition des défauts ou, si cela est possible par des essais sur pièces témoins placées par exemple à l'extrémité du joint, comme s'il était une partie intégrale de l'ensemble. Il y'a deux groupes principaux de méthodes de contrôle :

- Contrôle destructif: (essai de texture, essais mécaniques: pliage, résilience).
- Contrôles non destructifs: (examen visuel, ressuage, rayons X, rayon gamma, courants de Foucault, ultrason).

III.6.2. Contrôles non destructifs :

- **Examen visuel :**

C'est un examen rudimentaire, simple d'atelier et qui a pour but l'observation attentive du joint à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe, permet de vérifier que la soudure est compacte, et bien pénétrée, de déceler les criques débouchant en surface, les manques ou les excès de métal d'apport, le manque de pénétration, les caniveaux, les morsures et la forme du cordon. Ce contrôle porte souvent de fruits, bien qu'il se limite aux défauts apparents relatifs à la structure et aux fissures apparentes.

III.6.2.1. Contrôles par ressuage:

- **Principe :**

Le procédé consiste à appliquer sur la surface à contrôler, préalablement nettoyée et séchée un liquide d'imprégnation coloré ou fluorescent. Le liquide pénètre par capillarité dans les ouvertures des défauts. L'excès de liquide est enlevé par lavage, la surface est séchée

On applique alors sur l'échantillon un révélateur qui, attirant le liquide d'imprégnation retenu dans les défauts, donne une indication renforcée de celui-ci. L'examen est visuel par la lumière naturelle (liquide d'imprégnation coloré) ou par la lumière noire (liquide d'imprégnation fluorescent).

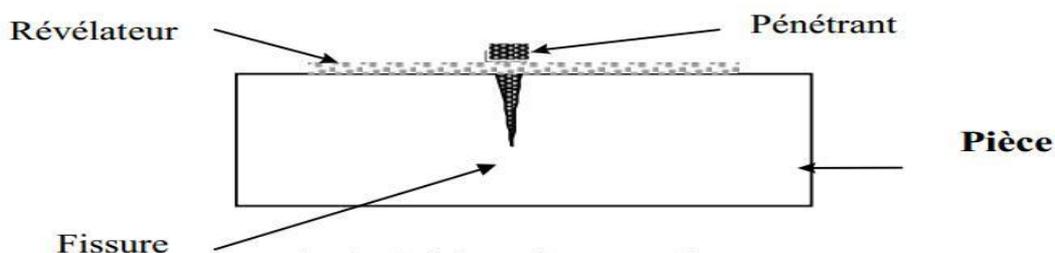


Fig.III.33. Schéma d'un control par ressuage.

III.6.2.2. Ultrasons :

- **Principe :**

Le procédé consiste à envoyer dans l'échantillon à examiner, une onde ultrasonore créée par un palpeur (traducteur). Les défauts, manque de matière ou hétérogénéités (appelés communément interfaces) renvoient une partie du faisceau ultrasonore vers le palpeur qui est également récepteur. Le positionnement du défaut est connu avec précision grâce à la connaissance de la vitesse des ultrasons dans la matière considérée et le temps correspondant à l'aller-retour de l'onde ultrasonore : surface de la pièce, vers défaut, vers surface de la pièce.



Fig.III.34. Contrôle de pièce fonderie.

III.6.2.3.Magnétoscopie :

- **Principe :**

Le procédé consiste à soumettre l'échantillon à contrôler à un champ magnétique de manière à déceler des fuites magnétiques particulièrement intenses sur les défauts, jouant le rôle d'entrefer. La détection de ces fuites se fait au moyen d'une liqueur magnétique noire ou fluorescent (oxyde de fer magnétique en suspension dans un liquide) en contact immédiat avec la surface de la pièce.



Fig.III.35.contrôle par magnétoscopie

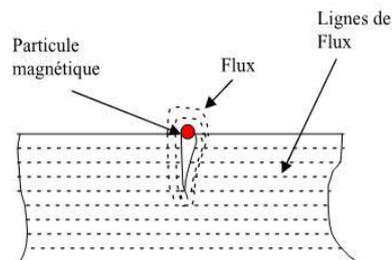


Fig.III.36.Banc de magnétoscopie

III.6.2.4.Courants de Foucault :

- **Principe :**

Le procédé est basé sur l'induction électromagnétique créée dans l'échantillon contrôlé par une bobine (Haute Fréquence ou Basse Fréquence), création de courant en boucle fermée dans la pièce (courants de Foucault), ceux-ci, à leur tour, vont réagir sur l'impédance de la bobine. Un défaut, une variation de géométrie, de conductibilité (nuance du matériau) vont influencer sur ces courants de Foucault, en déformant le champ. Cette distorsion, donc sa cause, est détectée par le changement de l'impédance électrique du circuit HF: de 10 à 100kHz, détection des défauts en peau (q mm)
BFBF: $\leq 1000\text{Hz}$, tri matière, tri dureté, profondeur de trempe....



Fig.III.37.Tri matière (bielle)

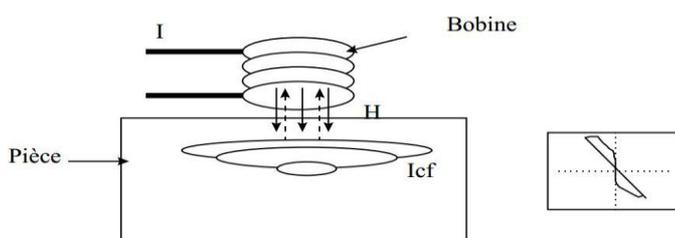


Fig.III.38.Contrôle par courant de Foucault.

III.6.2.5. Radiologie Industrielle :

- **Principe :**

Les rayonnements pénétrants générés par la source sont plus ou moins absorbés dans la pièce à contrôler. Un détecteur de rayonnement (film, écran...) convertit l'image radiante invisible en image visible (télécommande électrique)

les sources de rayonnement sont principalement des tubes à rayon X et des isotopes radioactifs cobalt 6060, iridium 137 etc.



Fig.III.39. Porte source.

***ETUDE DE NOTRE CAS PRATIQUE:**

III.7.Specification procédé de soudage “WPS” du GPL de capacité 100 m³ : [24]

III.7.1Soudage Manuel À L’arc Aves Electrode Enrobée SMAW :

III.7.1.1.Détail pour soudage virole – virole et fond – virole :

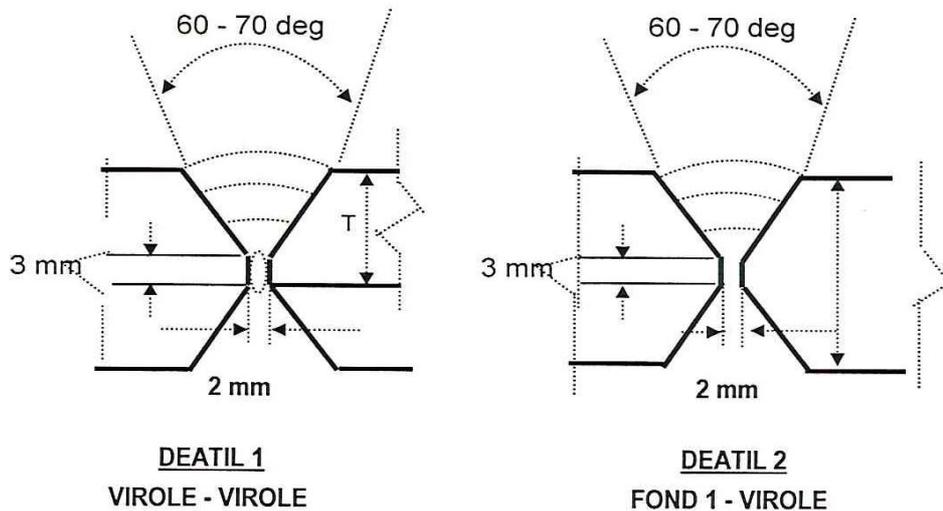


Fig. III.40.Soudage virole –virole / fond 1- virole

Type de chanfrein : X
 Angle : (voire figure)
 Talon : 3 mm
 Ecartement : 2 mm

• Réparation :

Les bords à souder sont préparer d’origine ou par découpage ou chan freinage ou meulage. Ils sont débarrassés de tout excès d’oxyde, rouille, graisse ou peinture. Les passes sont seulement schématisées. Les dispositions exactes des passes dépendent des paramètres de soudage choisis.

• Fixation :

- Méthode de fixation : par pointage ou clamps
- Durée de fixation : passe de pénétration seulement

Tableau.III.3.Métaux de base (1)

Φ		Epaisseur	
Min	Max	Min	Max
-	-	1.5	50

Séquence de soudage : toutes passes montantes
 Energie calorifique : 06 kj/cm – 08kj/cm
 Vitesse de soudage : 0.15 cm /s – 0.30 cm /s

Tableau.III.4.Métaux d'apport (1)

Passes	Pénétration	Bourrage	Finition
Type	E 708	Cl 12	Cl 12
AWS- SFA	5.1	5.17	5.17
Groupe F	4	5	5
Nombre A	1	1	1
Dimension	3.25 mm	4 mm	4 mm

Tableau.III.5.Position de soudage (1)

Passes	Pénétration	Bourrage	Finition
Position ASME	1G	1 G	1G
Rotation ou Fixe	Rotation	Rotation	Rotation
Progression de soudage	V.M	V.M	V.M

- **Préchauffage :**

Tableau.III.6.Préchauffage selon méthode (1)

Nuance Métal	Epaisseur paroi		
	Min	Max	T°C
P295 GH	1.5	20	20
Métal d'apport 1° P	2.5 mm	3.2 mm	

Tableau.III.7.Technique d'exécution du joint et caractéristique électrique (1)

Passage	Pénétration	Bourrage	Finition	Observation
Procède de soudage	SMAW	SAW	SAW	
Position de soudage	1 G	1 G	1 G	
Courant et polarité	CC (+)	CC (+)	CC (+)	
Métal d'apport	E 7018	Cl 12	CL 12	
Φ électrode (mm)	3.25 mm	/	/	
Φ fil (mm)	/	4mm	4 mm	
Ampérage (A)	80-80	450-500	450-500	
Voltage (V)	20-22	30-32	30-32	
Flux	/	F72EL12	F 72EL 12	VT 28 Cm /1
Gaz	/	/	/	/

Le nombre de passes en bourrage et finition dépend de l'épaisseur à souder
En bourrage et finition, les passes peuvent être faites par cordons juxtaposés

- **Refroidissement entre passes :**

Température inter passes

Entre la passe de pénétration et la 2^{ème} passe :

Température : < 200 °C Durée : 5 min

Entre autres passes

Température : < 200 °C Durée : 5 min

Interruption de soudure autorisée à partir : 01h- 1h30 à 250-300°C

Traitement thermique detentionnement :

Température d'internement : 300°C

Température de détente : 610°C

Température de refroidissement : 400°C

Temps de maintien : 1h 30 heures

Vitesse de montée : 200°C / heures

Vitesse de refroidissement : 150°C / heures

- **Aspect des cordons :**

Le cordon de soudage et la manière de déposer le métal assureront une fusion complète, sans manque de liaison sur les faces du chanfrein ou de la zone voisine du métal de base. il devra satisfaire à un examen visuel conforme aux exigences du cahier des charges.

- **Nettoyage :**

Après chaque passe et après enlèvement du laitier, tout défaut apparent est enlevé par brossage et / ou meulage avant l'exécution de la passe.

- **Essai et interprétation des résultats :**

Les essais d'homologation de la procédure et de qualification des soudures seront réalisés conformément au code :

ASME VIII . La qualification des soudures sur joint bout a bout sera fera par examen radiographique

- **Contrôle :**

Examen visuel :	OUI
Examen radiographique :	100%
Examen par ultrason :	NON
Examen par ressuage :	OUI
Examen magnétoscopie :	NON

III.7.1.2.Detail pour soudage des piquages sur la cuve:

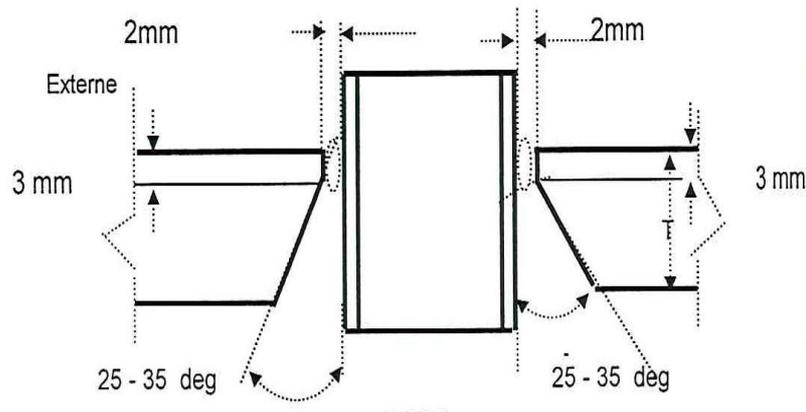


Fig. III.41.Soudage des piquages sur la cuve

Type de chanfrein : V
 Angle : (voire figure)
 Ecartement : 2 mm

- **Réparation :**

Les bords à souder sont préparés d'origine ou par découpage ou chanfreinage ou meulage. Ils sont débarrassés de tout excès d'oxyde, rouille, graisse ou peinture.

Les passes sont seulement schématisées. Les dispositions exactes des passes dépendent des paramètres de soudage choisis.

- **Fixation :**

- Méthode de fixation : par pointage ou clamps
- Durée de fixation : passe de pénétration seulement

Tableau.III.8.Métaux de base (2)

Φ		Epaisseur	
Min	Max	Min	Max
-	-	1.5	32
		4.76	50

Séquence de soudage : toutes passes montantes

Energie calorifique : 06 kJ/cm – 08kJ/cm

Vitesse de soudage : 0.15 cm /s – 0.30 cm /s

Tableau.III.9.Métaux d'apport (2)

Passes	Pénétration	Bouillage	Finition
Type	E 708	E7018	E7018
AWS- SFA	5.1	5.1	5.1
Groupe F	4	5	5
Nombre A	1	1	1
Dimension	3.25 mm	3.25 - 4 mm	3.25 - 4 mm

Tableau.III.10.Position de soudage (2)

Passes	Pénétration	Bourrage	Finition
Position ASME	2F	2 F	2F
Rotation ou Fixe	Fixe	Fixe	Fixe
Progression de soudage	V.M	V.M	V.M

- **Préchauffage :**

Tableau.III.11.Préchauffage selon méthode (2)

Nuance Métal	Epaisseur paroi		
	Min	Max	T°C
P295 GH	1.6	32	20
SA 106 Gr B	4.76	50	20
Métal d'apport 1eP	2.5 mm	3.2 mm	

Tableau.III.12.Technique d'exécution du joint et caractéristique électrique (2)

Passage	Pénétration	Bourrage	Finition	Observation
Procède de soudage	SMAW	SMAW	SMAW	
Position de soudage	2F	2F	2F	
Courant et polarité	CC (+)	CC (+)	CC (+)	
Métal d'apport	E 7018	E 7018	E 7018	
Φ électrode (mm)	3.25 mm	3.25 – 4 mm	3.25 – 4 mm	
Φ fil (mm)	/	/	/	
Ampérage (A)	80-80	90- 200	90- 200	
Voltage (V)	20-22	22-30	30-32	
Flux	/	/	/	
Gaz	/	/	/	

Le nombre de passe en bourrage et finition dépend de l'épaisseur à souder
En bourrage et finition, les passes peuvent être faites par cordons juxtaposés

- **Refroidissement entre passes :**

Température inter passes

Entre la passe de pénétration et la 2^{ème} passe :

Température : < 200 °C Durée : 5 min

Entre autres passes

Température : < 200 °C Durée : 5 min

Interruption de soudure autorisée à partir : 01h- 1h30 à 250-300°C

Traitement thermique détentionnement :

Température d'internement : 300°C

Température de détente : 610°C

Température de refroidissement : 400°C

Temps de maintien : 1h 30 heures

Vitesse de montée : 200°C / heures

Vitesse de refroidissement : 150°C / heures

- **Aspect des cordons :**

Le cordon de soudage et la manière de déposer le métal assureront une fusion complète, sans manque de liaison sur les faces du chanfrein ou de la zone voisine du métal de base. Il devra satisfaire à un examen visuel conforme aux exigences du cahier des charges

- **Nettoyage :**

Après chaque passe et après enlèvement du laitier, tout défaut apparent est enlevé par brossage et / ou meulage avant l'exécution de la passe

- **Essai et interprétation des résultats :**

Les essais d'homologation de la procédure et de qualification des soudures seront réalisés conformément au code :

CODAP 2000 . la qualification des soudures sur joint bout à bout sera fera par examen radiographique

- **Contrôle :**

Examen visuel :	OUI
Examen radiographique :	/%
Examen par ultrason :	OUI
Examen par ressuage :	OUI
Examen magnétoscopie :	NON

III.7.1.3.Detail pour soudage anneau de levage :

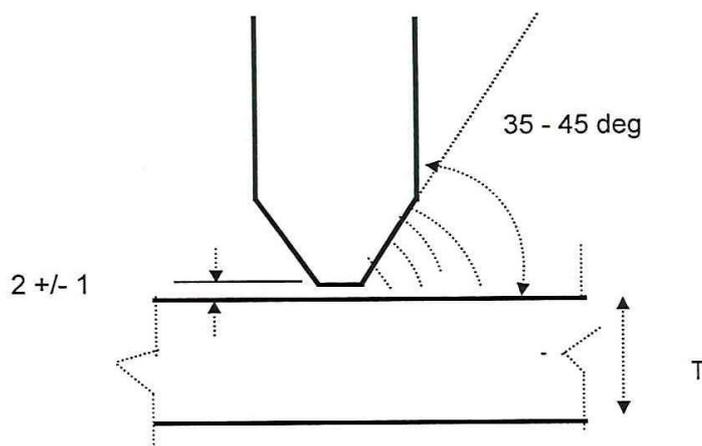


Fig. III.42.Soudage

anneau de levage

Type de chanfrein : V
Angle : (voire figure)
Talon : 1.6+/-0.8
Ecartement : 2.0+/-1.0

- **Réparation :**

Les bords à souder sont préparer d'origine ou par découpage ou chan freinage ou meulage. Ils sont débarrassés de tout excès d'oxyde, rouille, graisse ou peinture.

Les passes sont seulement schématisées. Les dispositions exactes des passes dépendent des paramètres de soudage choisis

- **Fixation :**
 - Méthode de fixation : par pointage ou clamps
 - Durée de fixation : passe de pénétration seulement

Tableau.III.13.Métaux de base (3)

Φ		Epaisseur	
Min	Max	Min	Max
-	-	1.5	20
		1.5	16

Séquence de soudage : toutes passes montantes

Energie calorifique : 06 kj/cm – 08kj/cm

Vitesse de soudage : 0.15 cm /s – 0.30 cm /s

Tableau.III.14.Métaux d'apport (3)

Passes	Pénétration	Bourrage	Finition
Type	E 708	E7018	E7018
AWS- SFA	5.1	5.1	5.1
Groupe F	4	4	4
Nombre A	1	1	1
Dimension	3.25 mm	3.25 - 4 mm	3.25 - 4 mm

Tableau.III.15.Position de soudage (3)

Passes	Pénétration	Bourrage	Finition
Position ASME	2F	2 F	2F
Rotation ou Fixe	Fixe	Fixe	Fixe
Progression de soudage	V.M	V.M	V.M

- **Préchauffage :**

Tableau.III.16.Préchauffage selon méthode (3)

Nuance Métal	Epaisseur parois		
	Min	Max	T°C
P295 GH	1.6	20	20
SA 106 Gr B	1.6	16	
Métal d'apport 1e P	2.5 mm	3.2 mm	

Tableau.III.17.Technique d'exécution du joint et caractéristique électrique (3)

Passage	Pénétration	Bourrage	Finition	Observation
Procède de soudage	SMAW	SMAW	SMAW	
Position de soudage	2F	2F	2F	
Courant et polarité	CC (+)	CC (+)	CC (+)	
Métal d'apport	E 7018	E 7018	E 7018	
Φ électrode (mm)	3.25 mm	3.25 – 4 mm	3.25 – 4 mm	
Φ fil (mm)	/	/	/	
Ampérage (A)	80-80	90- 200	90- 200	
Voltage (V)	20-22	22-30	30-32	
Flux	/	/	/	
Gaz	/	/	/	

Le nombre de passe en bourrage et finition dépend de l'épaisseur à souder.

En bourrage et finition, les passes peuvent être faite par cordons juxtaposés.

- **Refroidissement entre passes :**

Température inter passes

Entre la passe de pénétration et la 2^{ème} passe :

Température : < 200 °C Durée : 5 min

Entre autres passes

Température : < 200 °C Durée : 5 min

Interruption de soudure autorisée à partir : 01h- 1h30 à 250-300°C

Traitement thermique detentionnement :

Température d'internement : 300°C

Température de détente : 610°C

Température de refroidissement : 400°C

Temps de maintien : 1h 30 heures

Vitesse de montée : 200°C / heures

Vitesse de refroidissement : 150°C / heures

- **Aspect des cordons :**

Le cordon de soudage et la manière de déposer le métal assureront une fusion complète, sans manque de liaison sur les faces du chanfrein ou de la zone voisine du métal de base. Il devra satisfaire à un examen visuel conforme aux exigences du cahier des charges

- **Nettoyage :**

Après chaque passe et après enlèvement du laitier, tout défaut apparent est enlevé par brossage et / ou meulage avant l'exécution de la passe

- **Essai et interprétation des résultats :**

Les essais d'homologation de la procédure et de qualification des soudures seront réalisés conformément au code :

CODAP 2000. La qualification des soudures sur joint bout a bout sera fera par examen radiographique

- **Contrôle :**

Examen visuel : OUI

Examen radiographique : 0%

Examen par ultrason : NON

Examen par ressuage : OUI

Examen magnétoscopie : NON

IV. Conception et simulation de la cuve sous pression : [25]

IV.1. Logiciel utilisé :

SolidWorks : SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows.



Fig.IV.1. Logo SOLIDWORKS

IV.2. Historique : [25]

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes³. Parmi les plus grandes organisations utilisant SolidWorks, on peut citer Frankie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, MegaBlocs, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud, Lorenz Baumer⁴, l'Opéra de Paris⁴, Jtekt⁴, GTT⁴ et le Ministère de l'Éducation nationale français.

IV.3. Fonctionnement : [26]

SolidWorks est un modèleur 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.

Tableau IV.1: Information sur le logiciel utilisé pour la conception.

Développé par	Dassault Systèmes SE
Première version	21 mars 1995
Version utilisée pour ma conception	SOLIDWORKS 2020 x64 Edition
Écrit en	Visual Basic
Système d'exploitation	Microsoft Windows
Langues	Multilingue
Type	Logiciel de conception assistée par ordinateur
Licence	Licence de logiciel propriétaire
Site web	www.solidworks.com

IV.4. Différents composants de la cuve :

- Virole
- Virole droite
- Virole gauche
- Fond 2000 elliptique droite
- Fond 2000 elliptique gauche
- Berceau
- Anneau de levage 1
- Anneau de levage 2
- Bride 1
- Bride type 2
- Skid

IV.5. Conception des composants de la cuve :

IV.5.1. Présentation de virole :

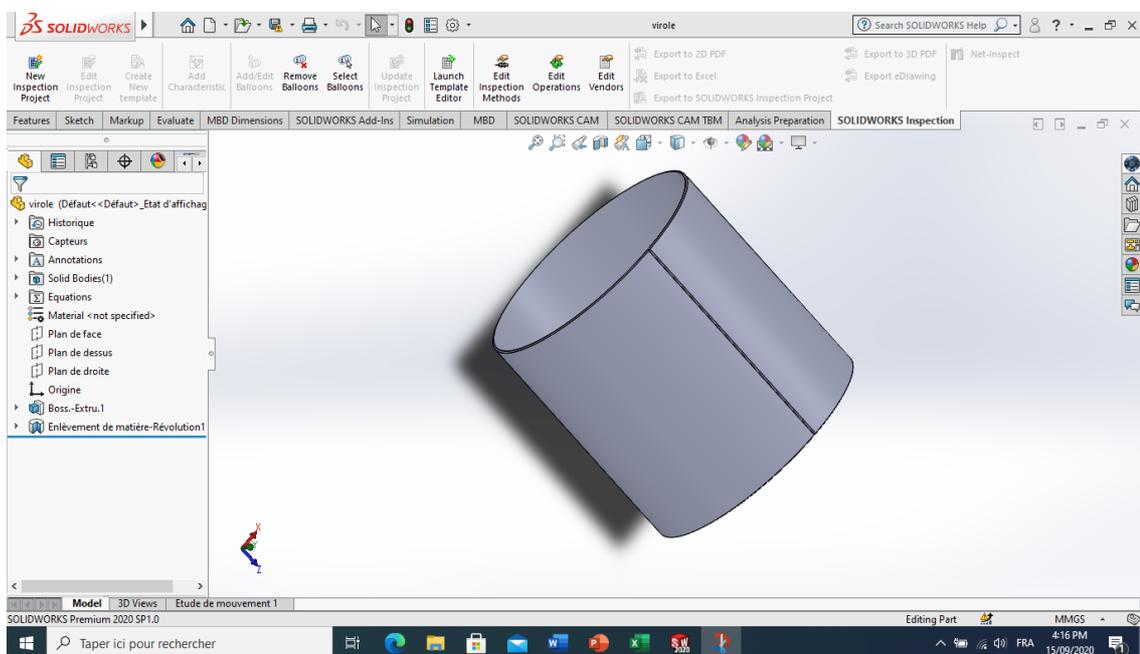


Fig.IV.2. Interface graphique de virole sous-SolidWorks.

IV.5.2. Présentation de virole droite-gauche :

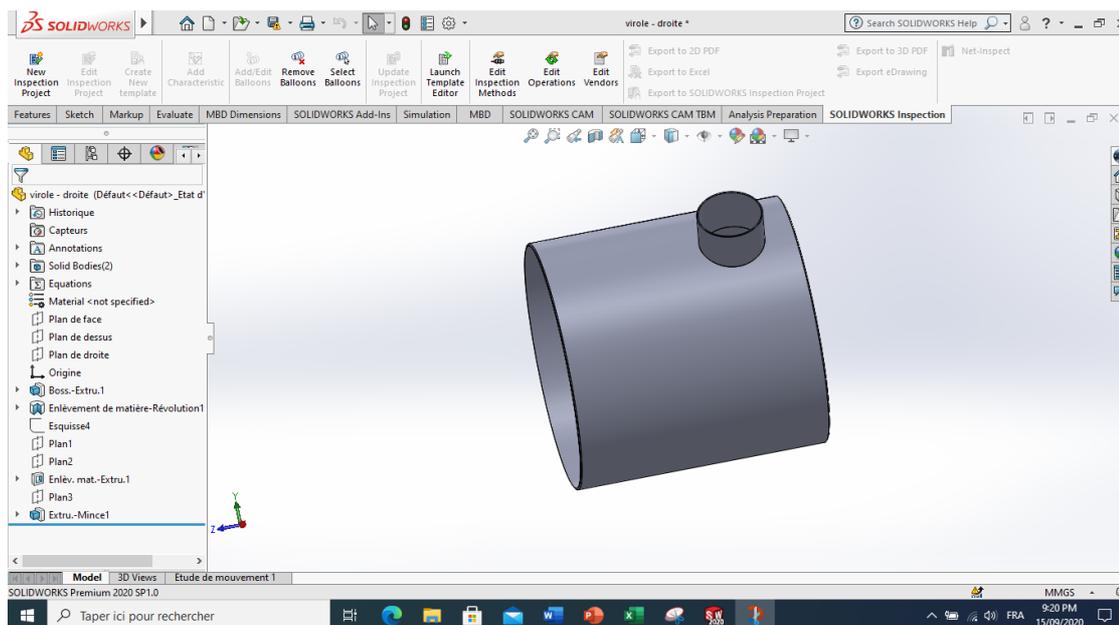


Fig.IV.3. Interface graphique de virole droite- gauche sous-SolidWorks.

IV.5.3. Présentation des fonds 2000 elliptiques :

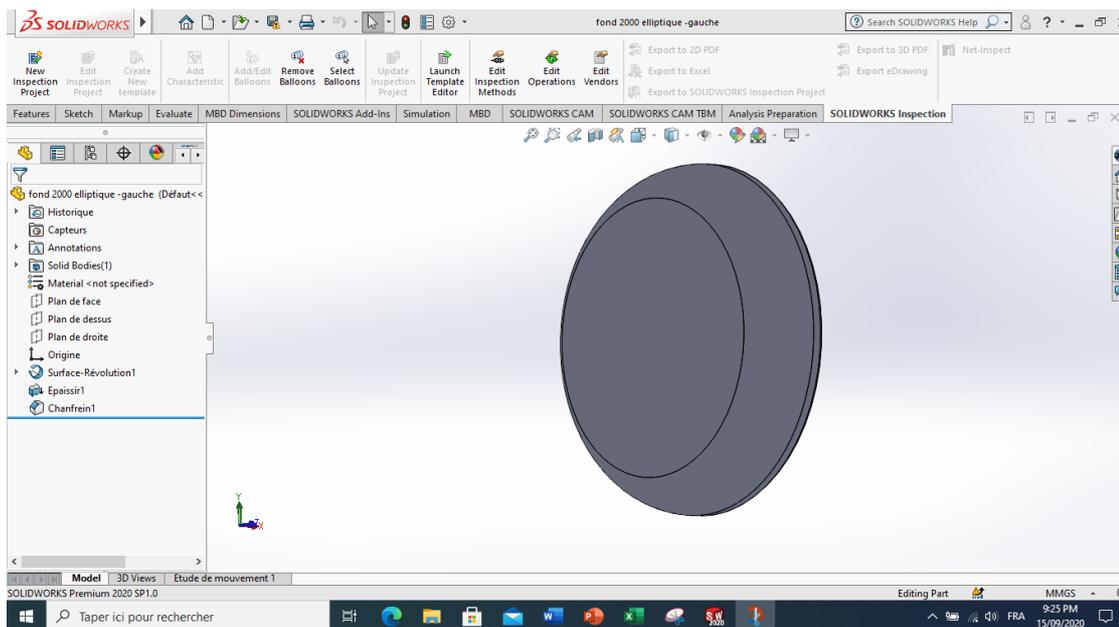


Fig.IV.4. Interface graphique du fonds elliptique droite-gauche sous SolidWorks.

IV.5.4. Présentation de berceau :

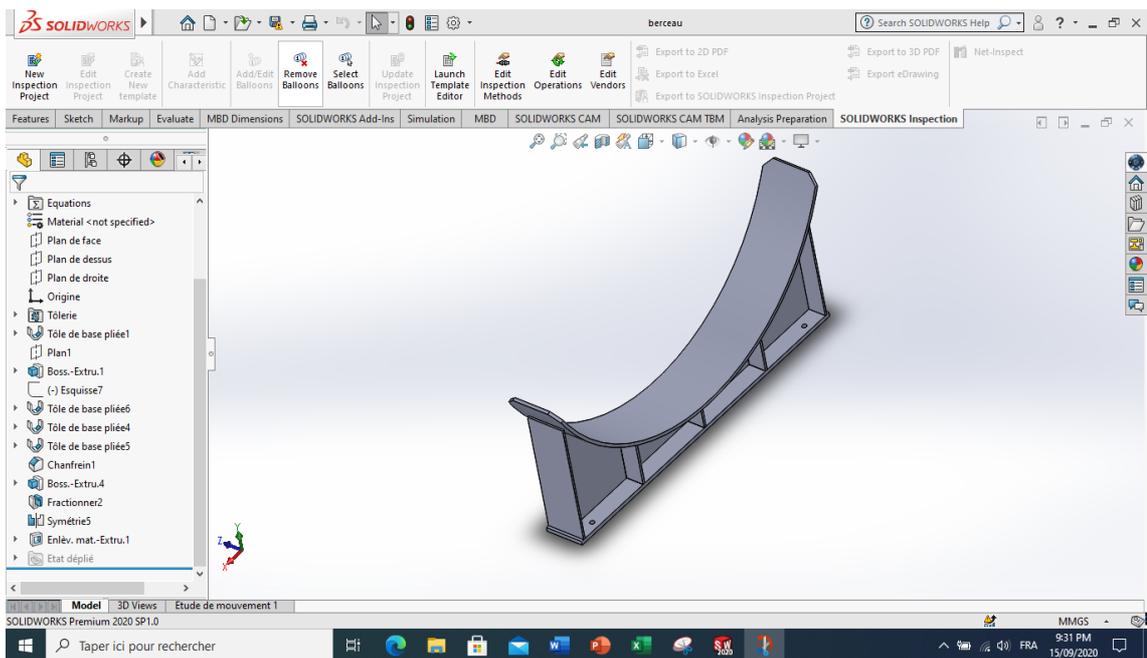


Fig.IV.5. Interface graphique de berceau sous SolidWorks.

IV.5.5. Présentation d'anneau de levage 1 :

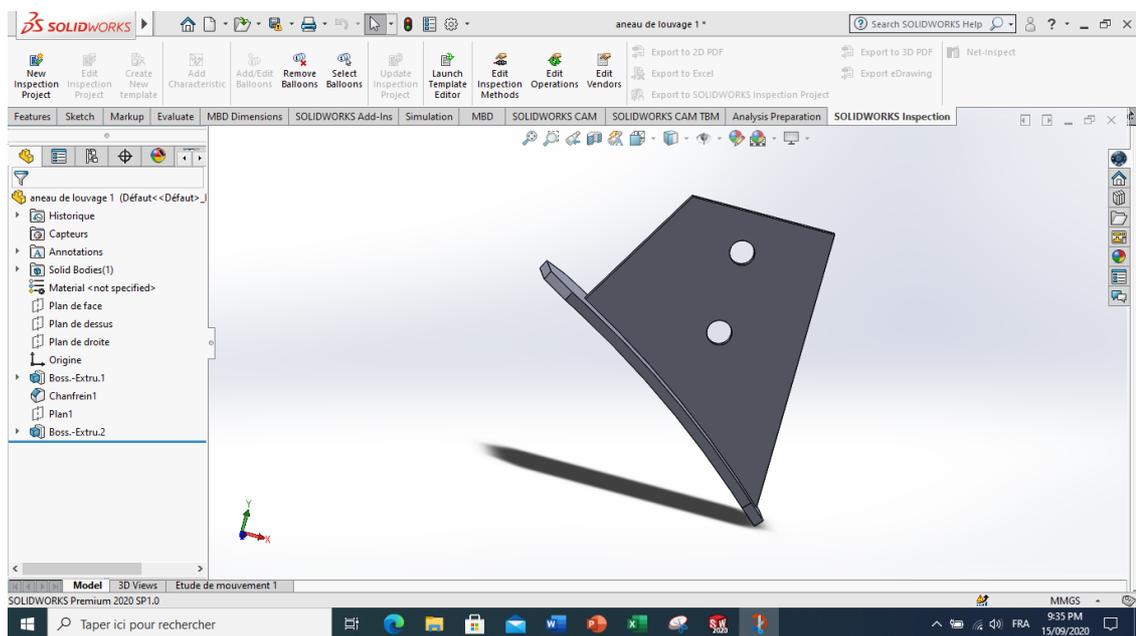


Fig.IV.6. Interface graphique d'anneau de levage 1 sous SolidWorks.

IV.5.6. Présentation d'anneau de levage 2 :

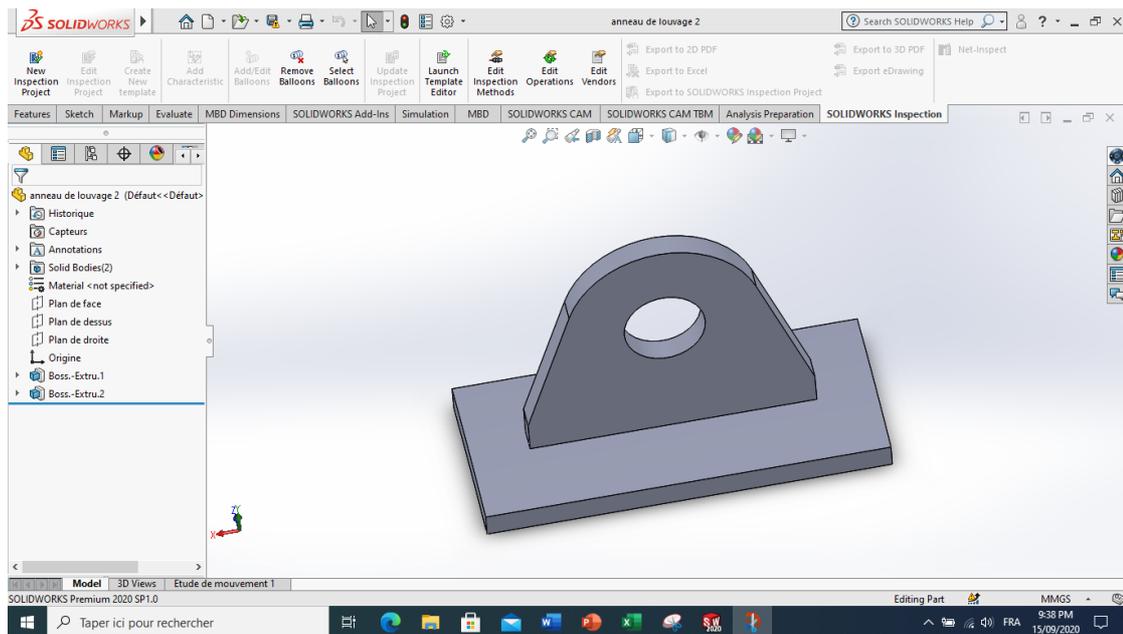


Fig.IV.7. Interface graphique d'anneau de levage 2 sous SolidWorks.

IV.5.7. Présentation de bride 1 :

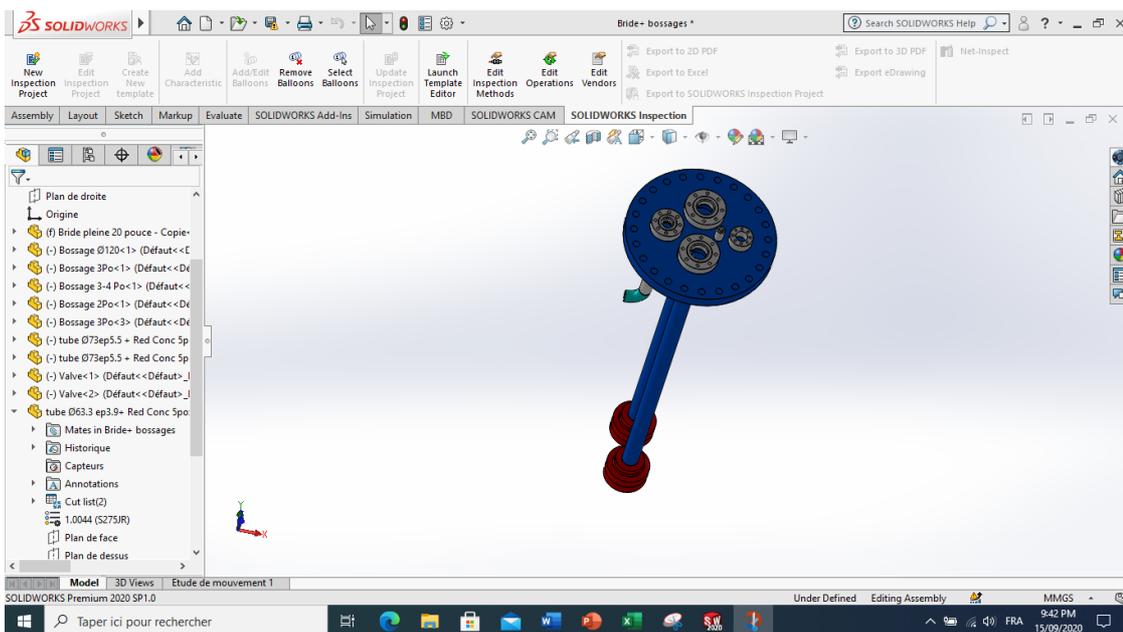


Fig.IV.8. Interface graphique de bride 1 sous SolidWorks.

IV.5.8. Présentation de bride type 2 :

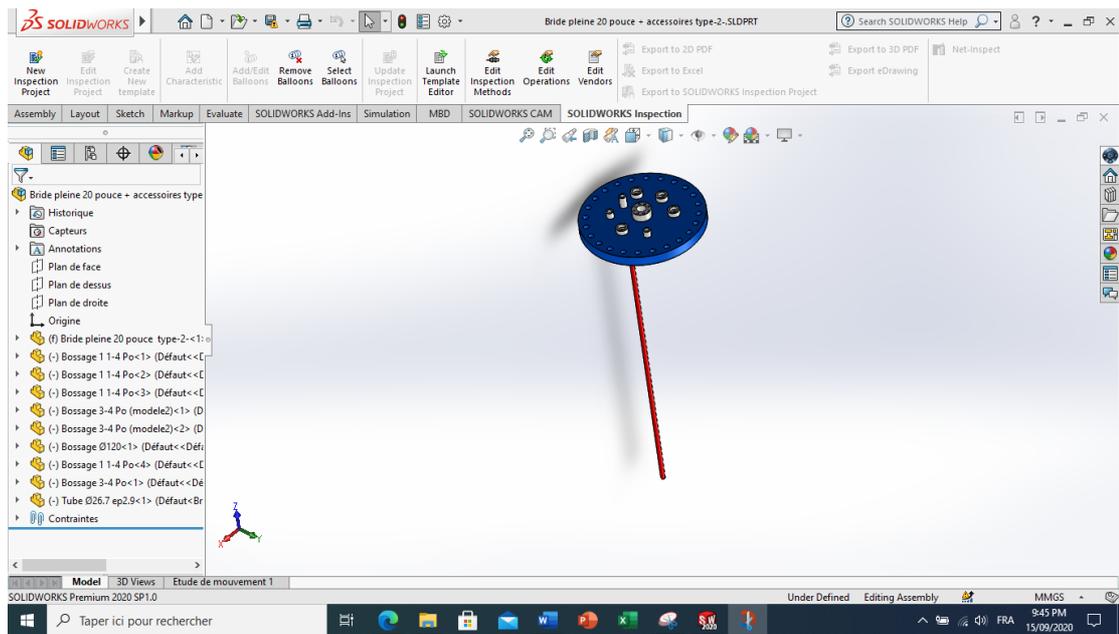


Fig. IV.9. Interface graphique de bride type 2 sous SolidWorks.

IV.5.9. Présentation de skid :

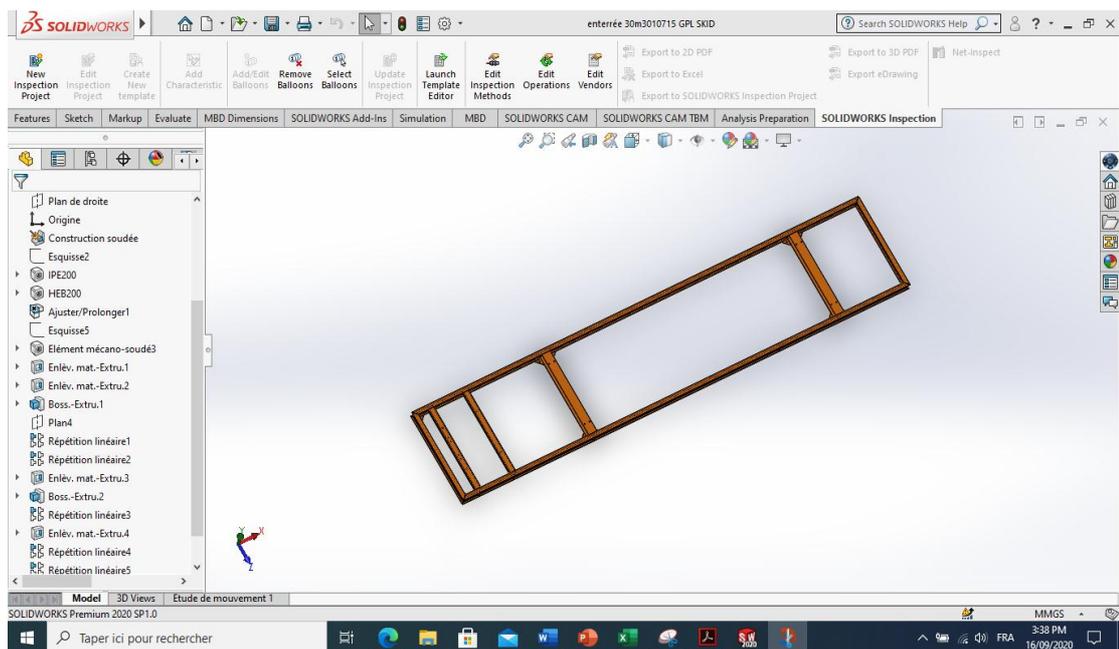


Fig. IV.10. Interface graphique de skid sous SolidWorks.

IV.6. Assemblage des composants :

Les différentes étapes d'assemblage sont présentées comme suite :

- Ouvrir l'interface d'assemblage du logiciel SolidWorks

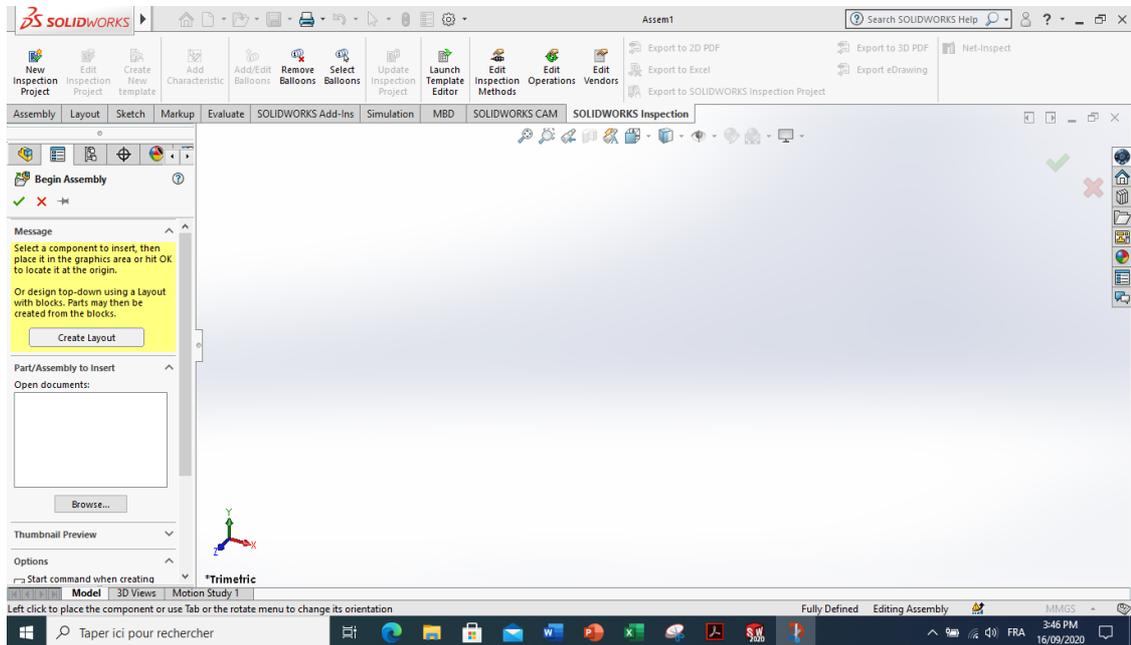


Fig. IV.11. Interface d'assemblage.

- Afin de parcourir les pièces, on clique sur BROWSE (ou parcourir), une fenêtre s'ouvre pour nous permettre de choisir les éléments nécessaires.
- Ouvrir le dossier à assembler les différentes pièces :

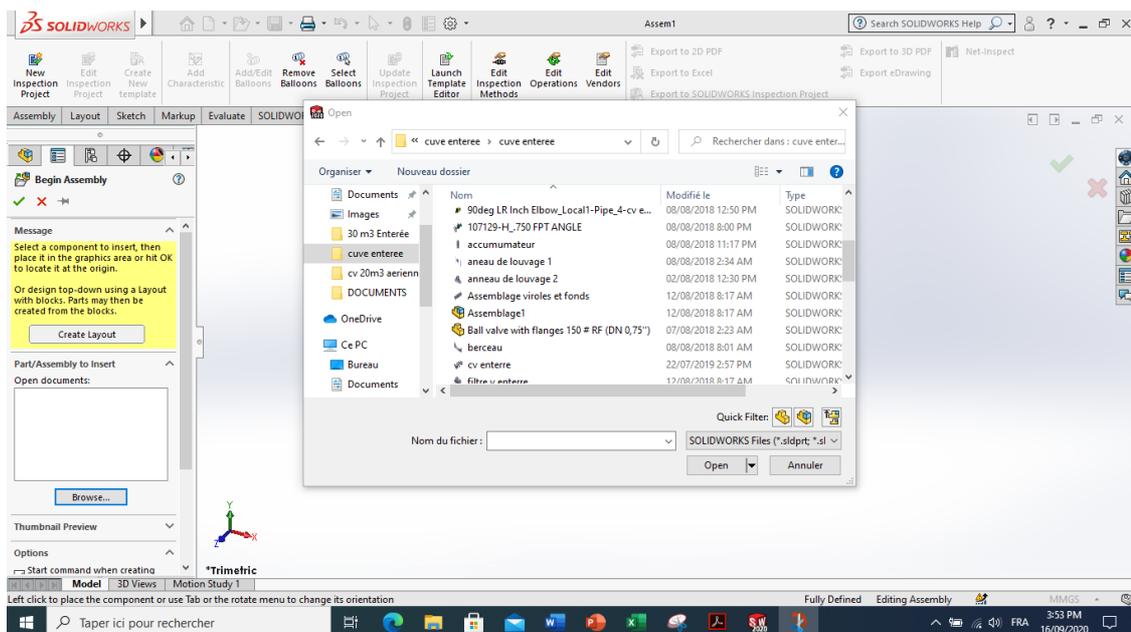


Fig. IV.12. Parcourir le dossier des composants.

- SOLIDWORKS nous permet de choisir plusieurs pièces en même temps afin de faire leur assemblage.
- Parcourir et insérer tous les composants :

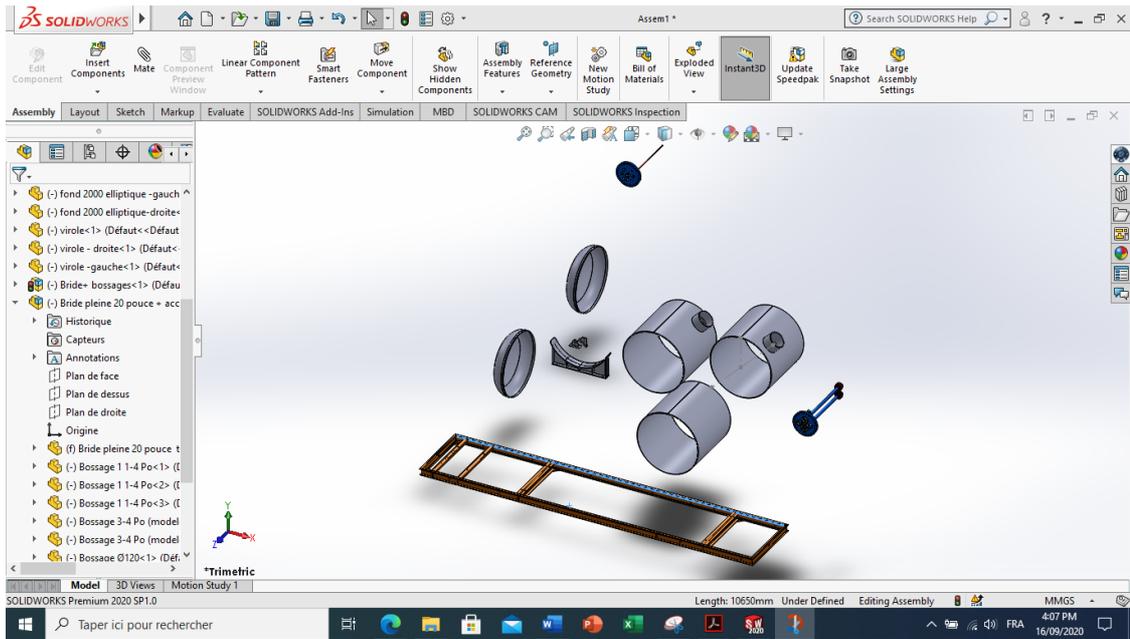
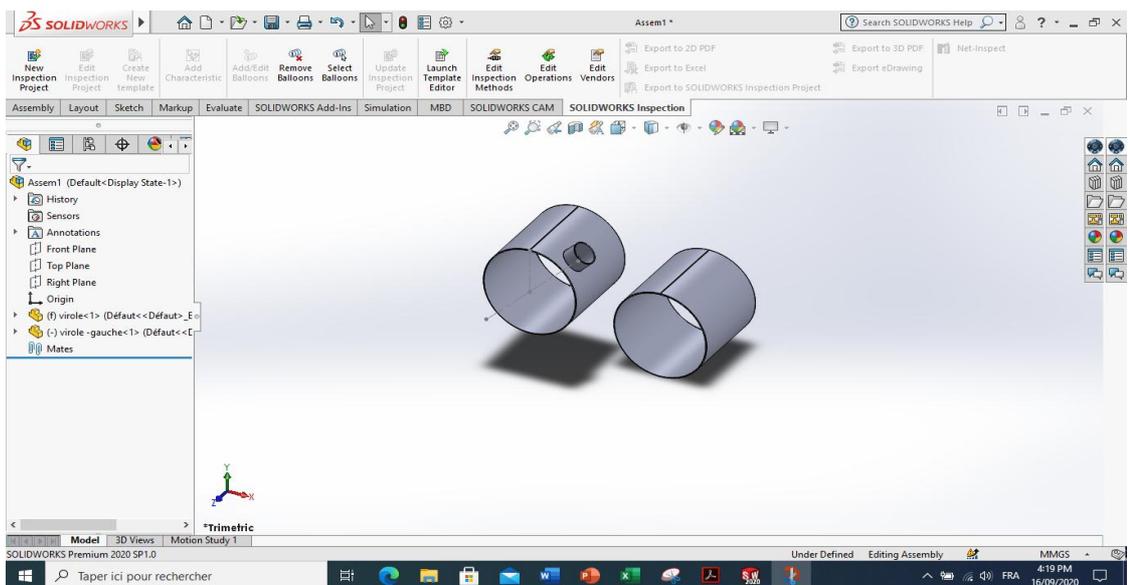


Fig. IV.13. Les composants avant l'assemblage.

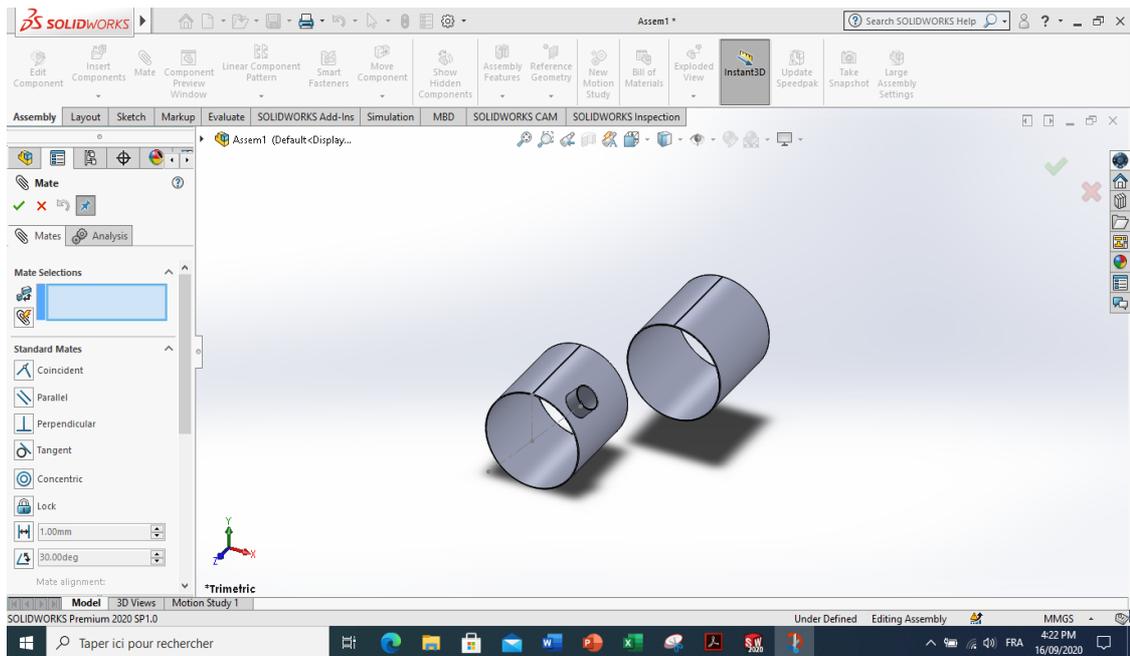
- Pour compléter l'assemblage du système, il faut :
 - Choisir les surfaces ou bien les arrêtes en contact dans les éléments.
 - Sélectionner les deux surfaces ou surface et arrête.
 - Choisir les contraintes.
 - Valider et faire rapprocher.
 - Valider.

Exemple :

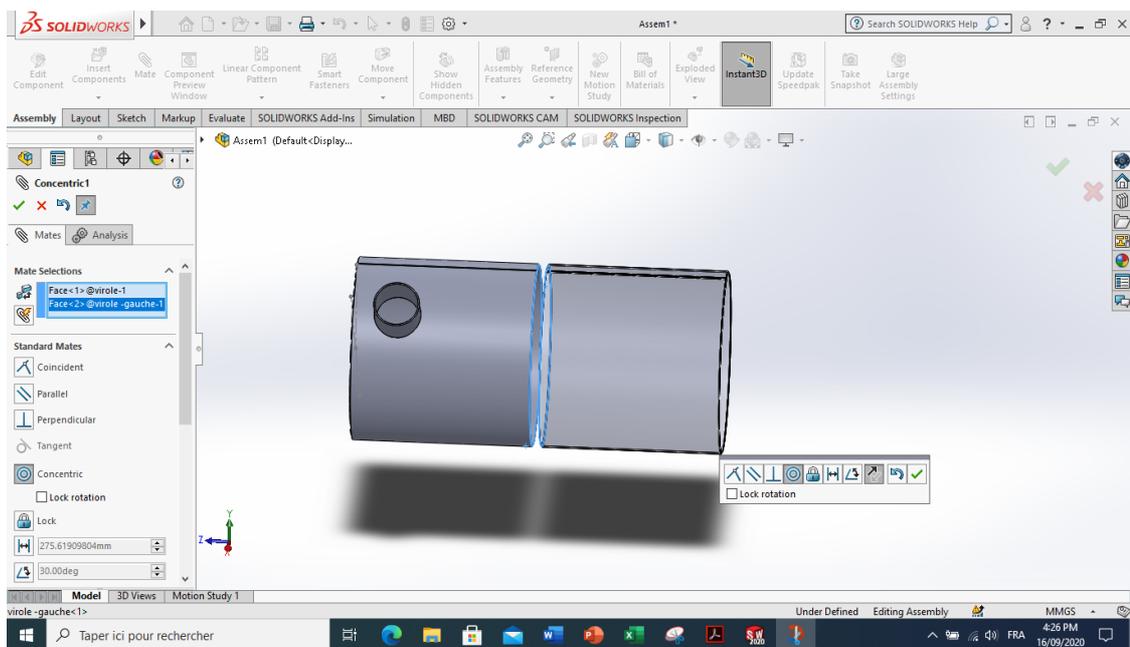
- On importe les pièces :



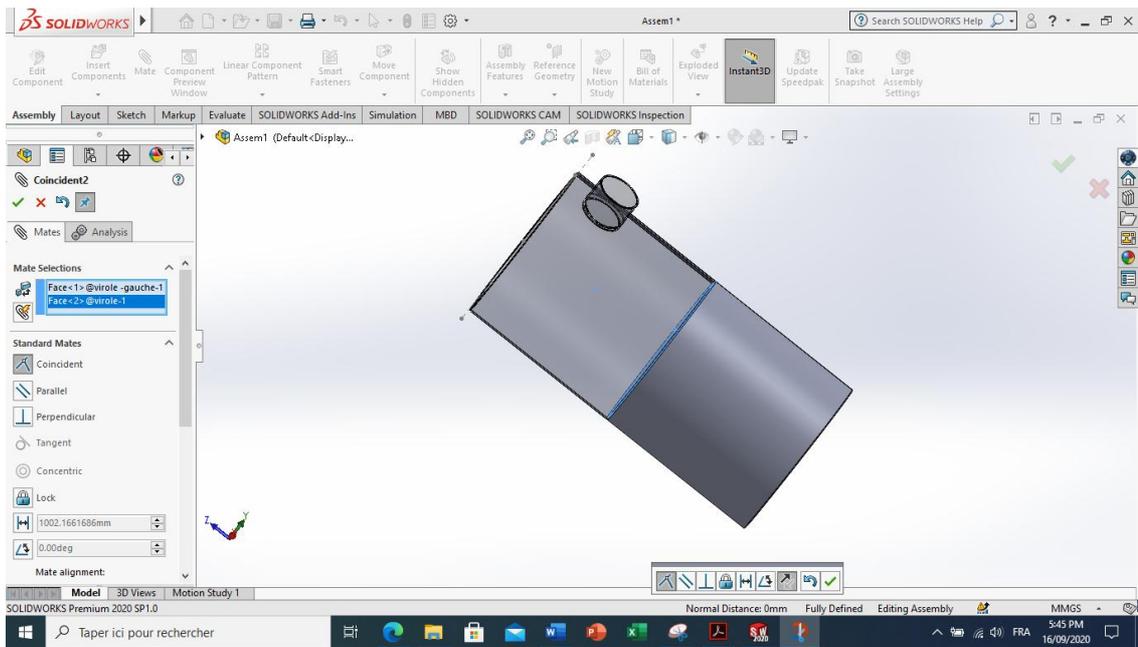
- Après on choisit le type de contrainte



- Ont choisi les faces afin d'appliquer les contraintes

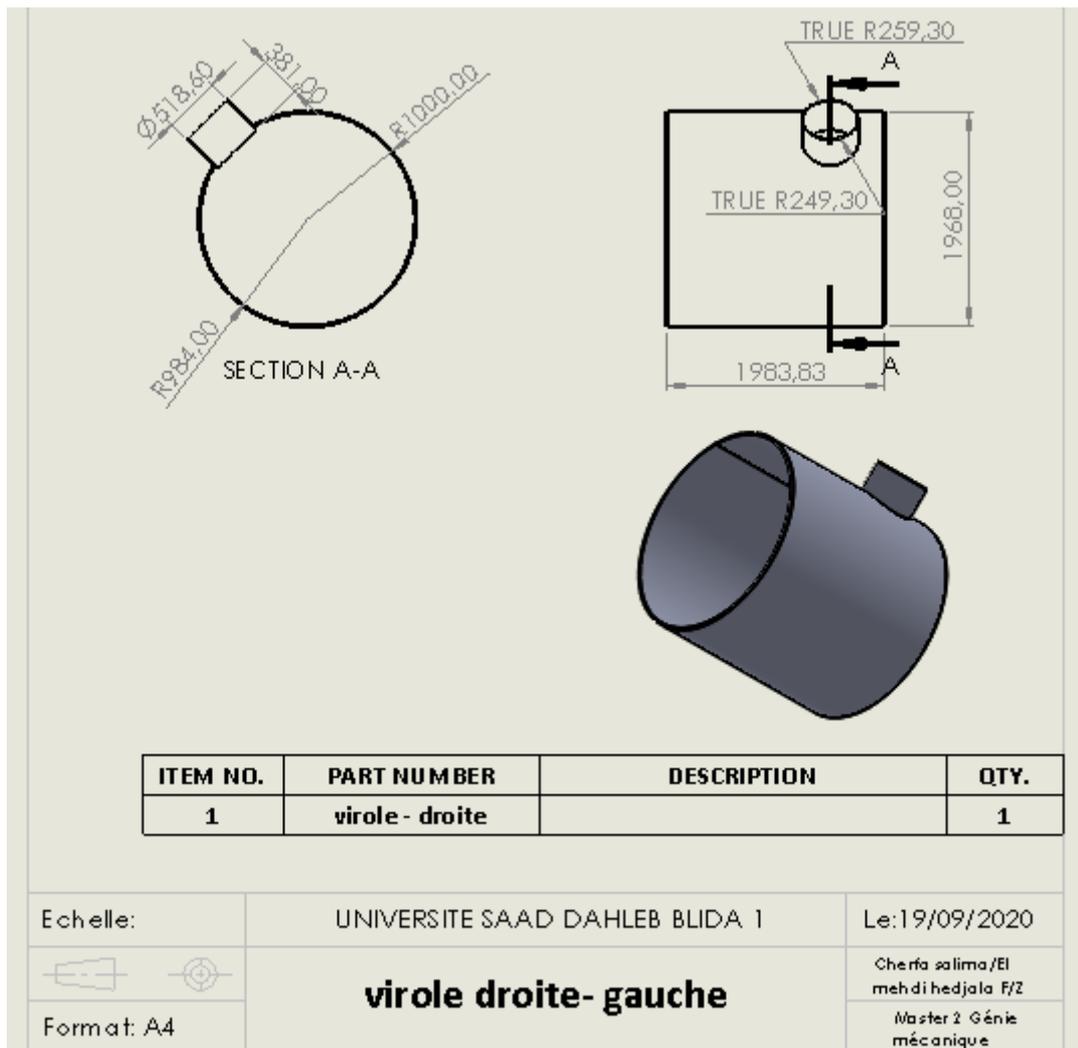


- Ont choisi le type de contrainte et on l'applique sur les deux faces choisies.
- Ont choisi deux trous afin d'appliquer une contrainte de concentrique et on fait cette opération avec deux autres trous.

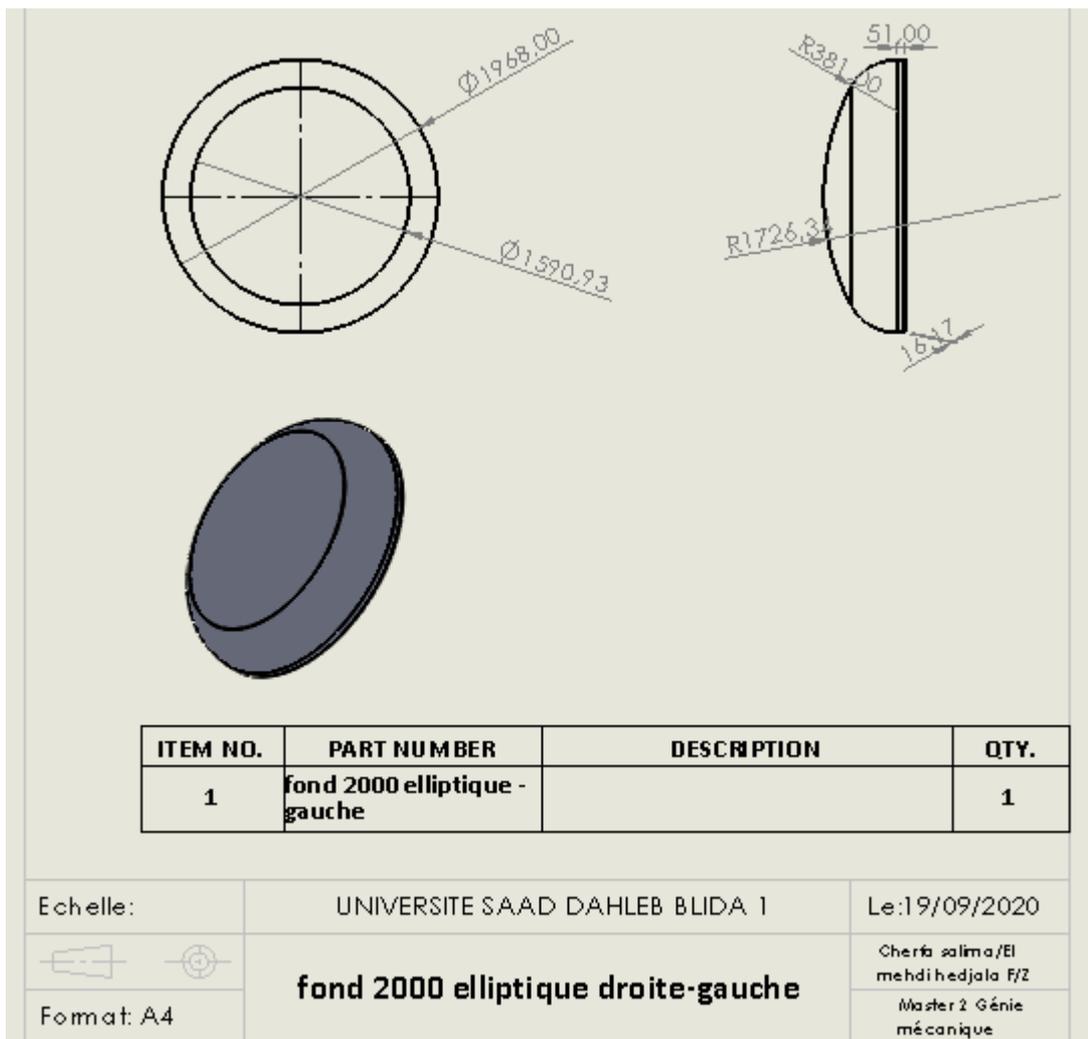


IV.7. Mise en plan des pièces :

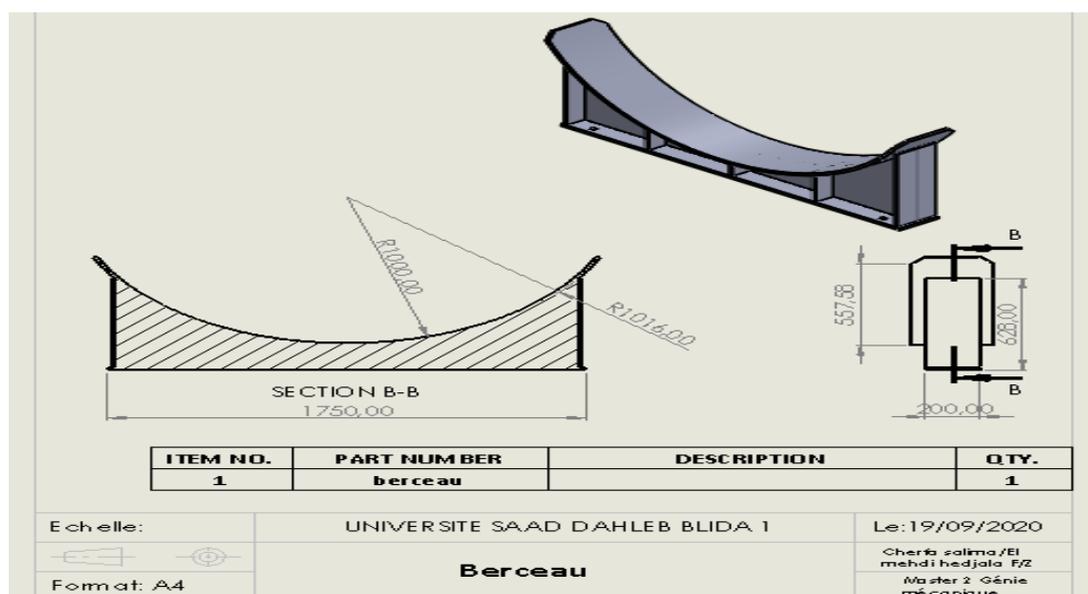
IV.7.1. Mise en plan de virole droite-gauche :



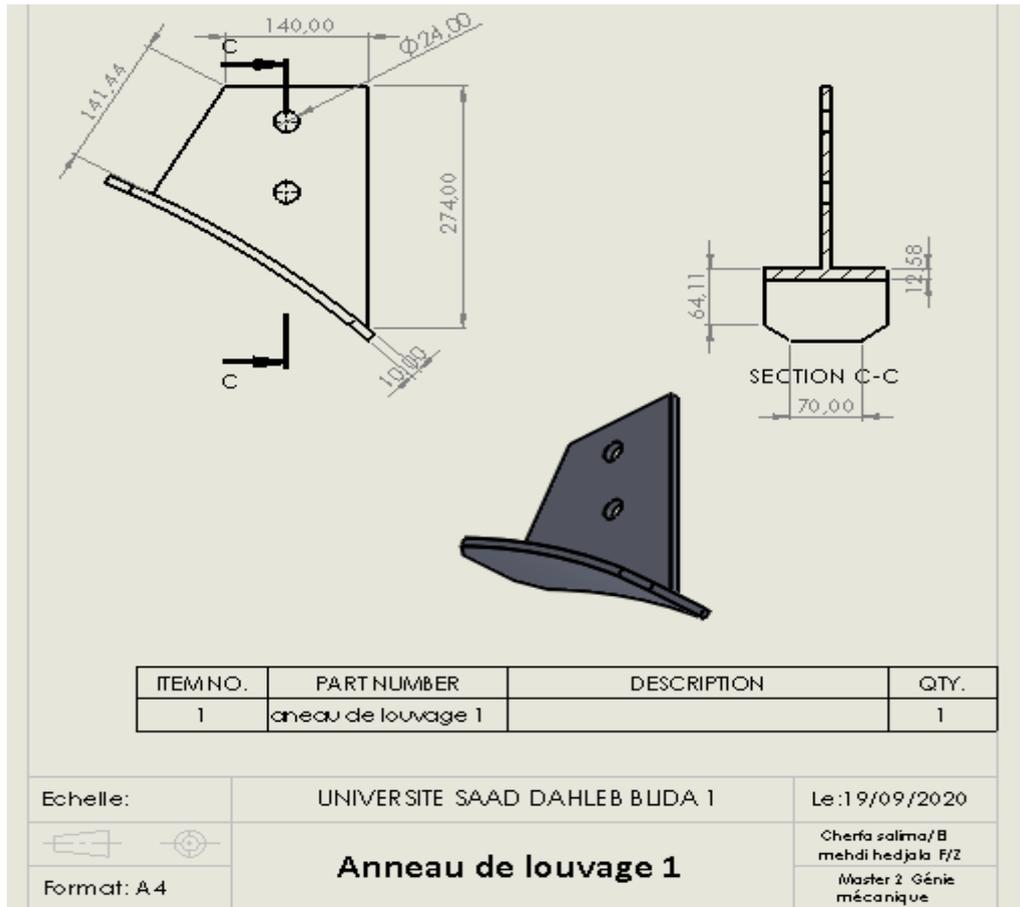
IV.7.2. Mise en plan de fond elliptique droite-gauche :



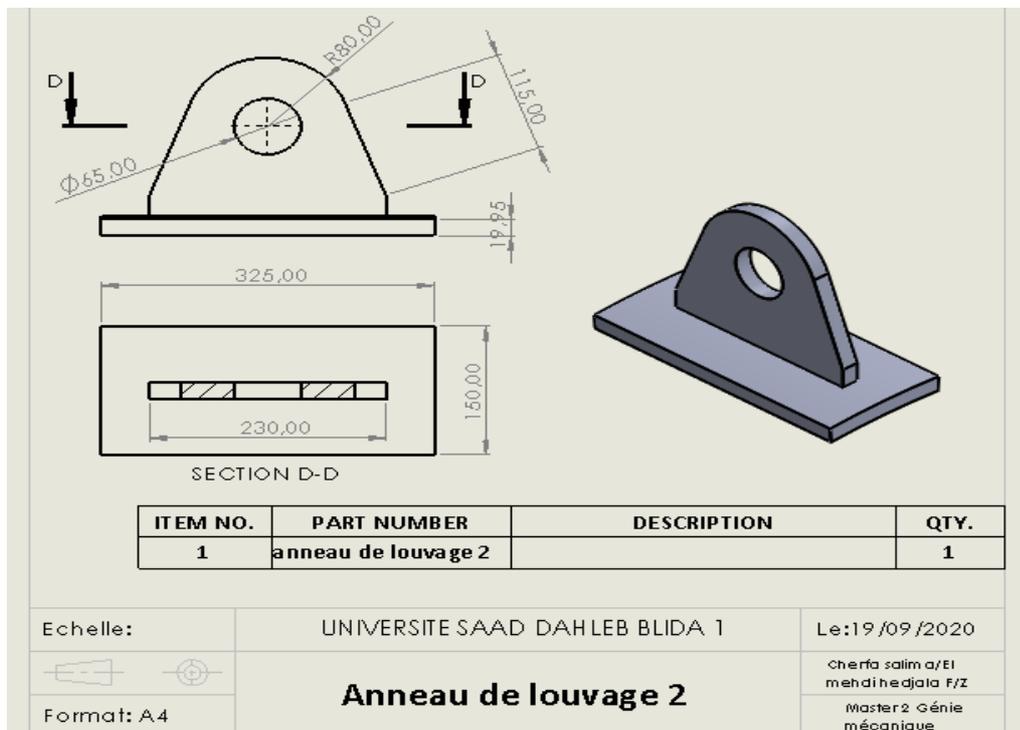
IV.7.3. Mise en plan de berceau :



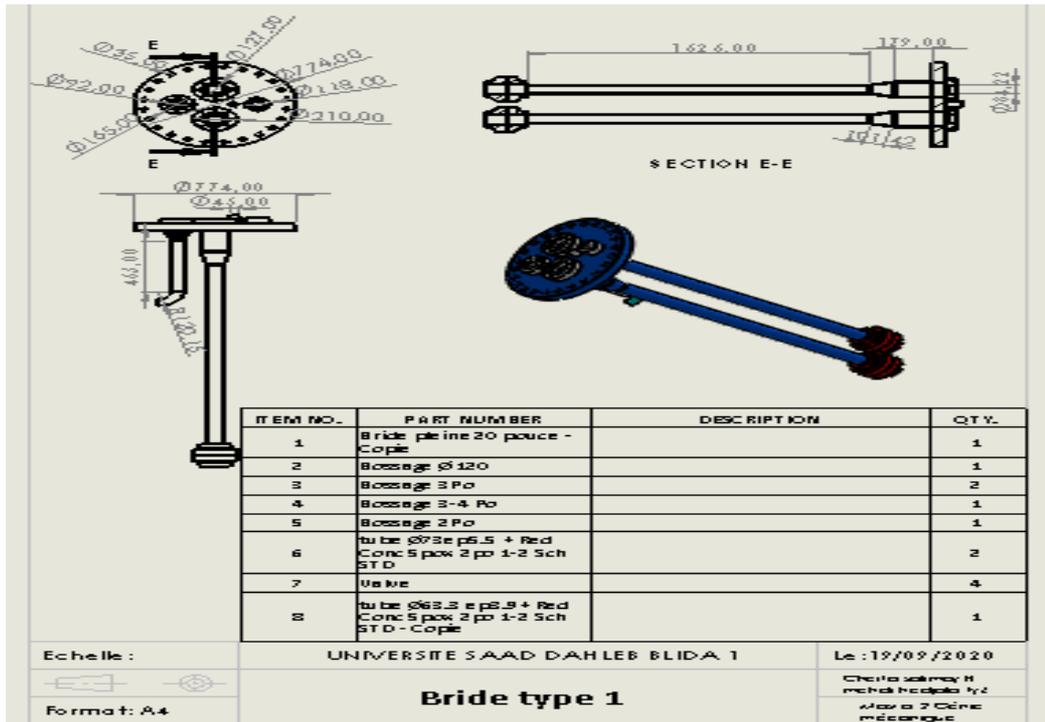
IV.7.4. Mise en plan d'anneau de levage 1 :



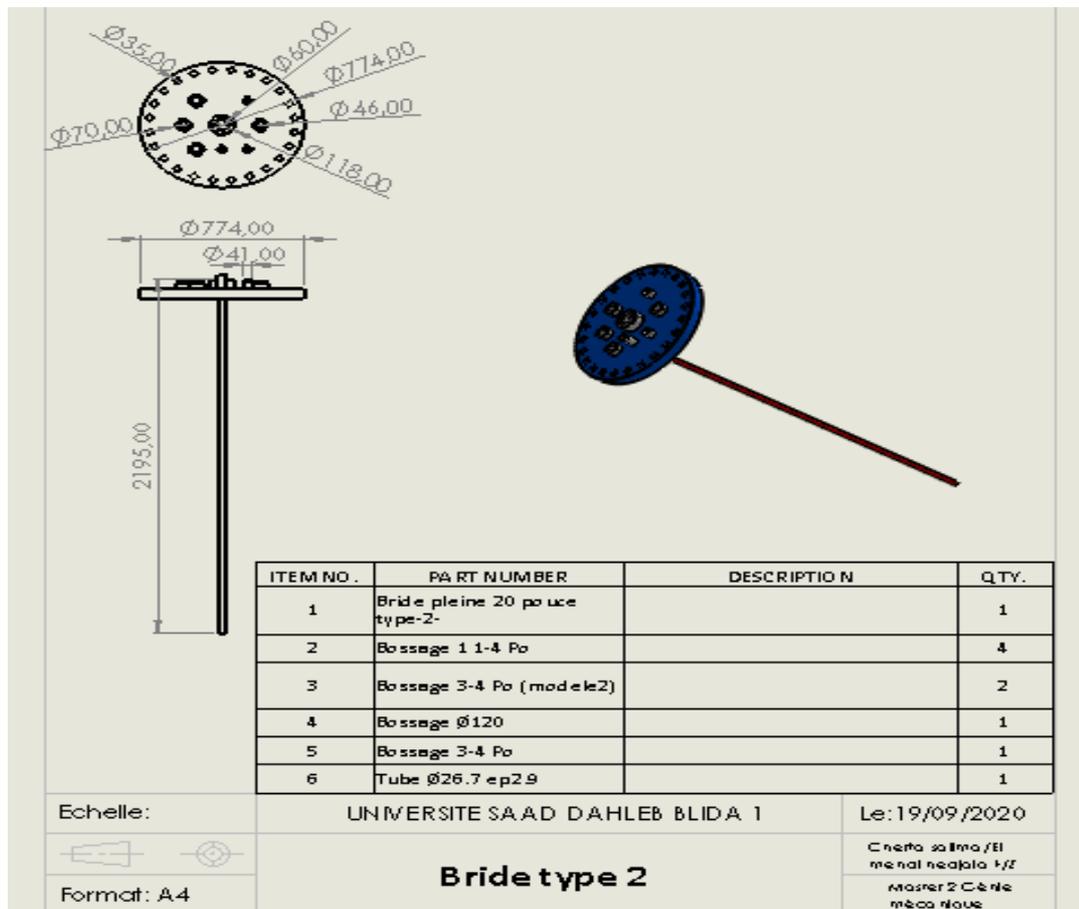
IV.7.5. Mise en plan d'anneau de levage 2 :



IV.7.6. Mise en plan de bride type 1 :

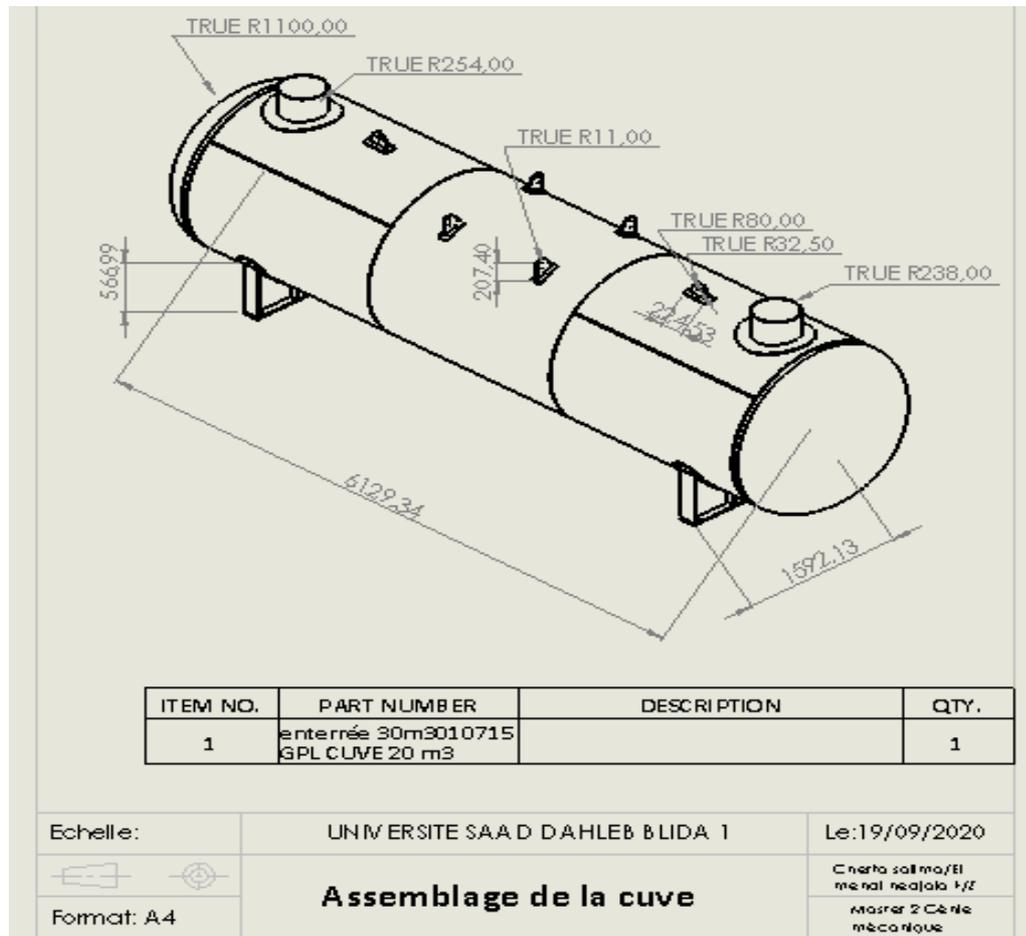


IV.7.7. Mise en plan de bride type 2 :



IV.8. Simulation de la cuve sous pression :

IV.7.8. Assemblage de la cuve :



IV.8. Simulation de la cuve sous pression :

IV.8.1. Introduction :

Les solutions de simulation pour SOLIDWORKS, constituent un portefeuille facile à utiliser d'outils d'analyse, permettant de prédire le comportement physique réel d'un produit, entendant virtuellement des modèles CAO.

Les fonctionnalités exceptionnelles de SOLIDWORKS Simulation, répondent à toutes les préoccupations que peut avoir un concepteur ; la rapidité de mise en œuvre, la puissance et la précision de ces analyses vous permettant d'améliorer la qualité, la fiabilité et la performance de vos produits.

On peut ainsi en mesure de résoudre vos problématiques d'ingénierie, grâce à des scénarios de chargement complexes et de nombreux tests physiques, tout en bénéficiant d'un large éventail de paramètres : réponse linéaire, non linéaire statique et dynamique, comportement thermique, fatigue, mais également l'analyse de chargement dynamique et de matériaux.

SOLIDWORKS Simulation garantit la robustesse de notre produit, tout en limitant considérablement les coûts liés au prototypage et aux différents tests physiques.

IV.8.2. Propriétés de l'étude :

Tableau IV.2. Les propriétés de l'étude de simulation de la cuve.

Nom de l'étude	Statique 2
Type d'analyse	Statique
Type de maillage	Maillage solide
Effet thermique	On
Option thermique	Inclure les charges de température
Température de déformation	298 Kelvin
Inclure les effets de pression de fluide de SolidWorks flow simulation	Off
Type de solveur	FFE plus
En effet plan	Off
Ressort souple	Off
Soulagement inertiel	Off
Options de liaison incompatibles	Automatique
Grand déplacement	On
Calculer les forces du corp libre	On
Friction	Off
Utiliser la méthode adaptive	Off
Dossier de résultat	SOLIDWORKS document (C:\Users\CAD-MASTER\Downloads\cv sph (1)\cv sph)

Tableau IV.3. Les unités que nous utilisons.

Système d'unité	SI(MKS)
Longueur/Déplacement	Mm
Température	Kelvin
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/contrainte	N/m ²

IV.8.3. Simulation sur la cuve :

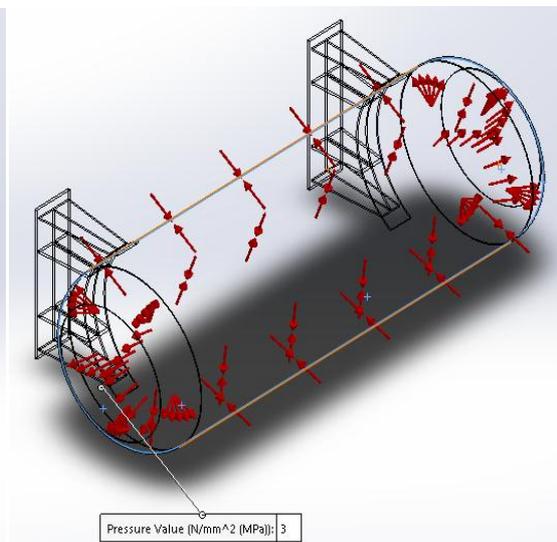
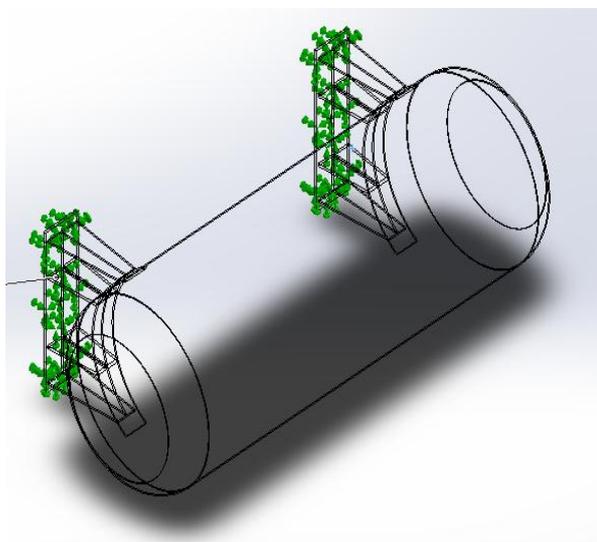


Fig.IV.14. Application de géométrie fixe.

Fig.IV.15. Applications de pression.

Pendant l'essai de simulation, on choisit les paramètres physiques suivants : une géométrie fixe, une pression de 2 N/m², et le matériau c'est de l'acier inoxydable.

IV.8.4. Information de maillage :

Tableau IV.4. Information sur le maillage

Type de maillage	Maillage solide
Maillage utilisé	Maillage standard
Transition automatique	Off
Inclure les boucles automatiques de maillage	Off
Points jacobiens pour un maillage de haute qualité	4 points
Taille de l'élément	98,294
Tolérance	4,9147
Qualité de maillage	Haut

Tableau IV.5. Tableau de maillage :

Nœud au total	19620
Éléments total	10442
Rapport hauteur/Largeur maximum	146,02
% d'élément avec rapport hauteur/largeur < 3	0,0862
% d'élément avec rapport hauteur/largeur > 10	82,1
% d'élément déformé (jacobien)	0
Temps pour terminer le maillage (hh,mm,ss)	00 :00 :23

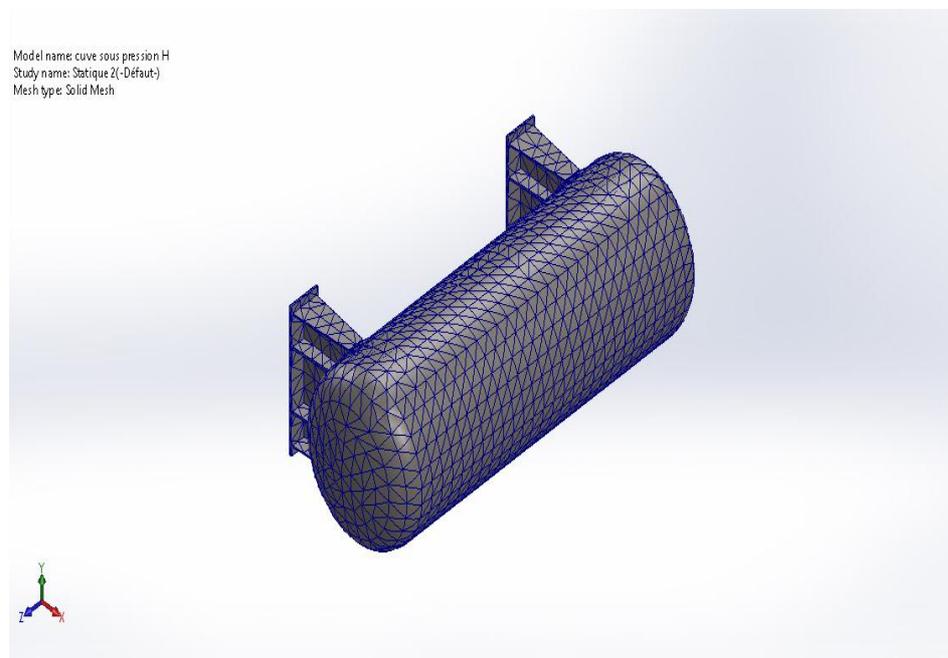


Fig.IV.16. Le maillage de la cuve sous pression.

Forces résultantes :

Tableau IV.6.Forces de réaction :

Ensemble de sélection	Unité	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultat
Modèle entier	N	-2.49002	1.90001	-4.33527	5.34834

Tableau IV.7.Moment de réaction :

Ensemble de sélection	Unité	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultat
Modèle entier	N.m	0	0	0	0

Tableau IV.8. Forces du corps libre :

Ensemble de sélection	Unité	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultat
Modèle entier	N	0	0	0	0

Tableau IV.9.Moment du corps libre :

Ensemble de sélection	Unité	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultat
Modèle entier	N.m	0	0	0	0

IV.8.5. Résultat de l'étude :

IV.8.5.1. Contraintes (Von mises) :

Tableau IV.10.Contraintes :

Nome	Type	Min	Max
Contraintes	Von : von mise stress	6.208 ^e +04N/m Nœud : 3102	4.062 ^e +08N/m ² Nœud :11545

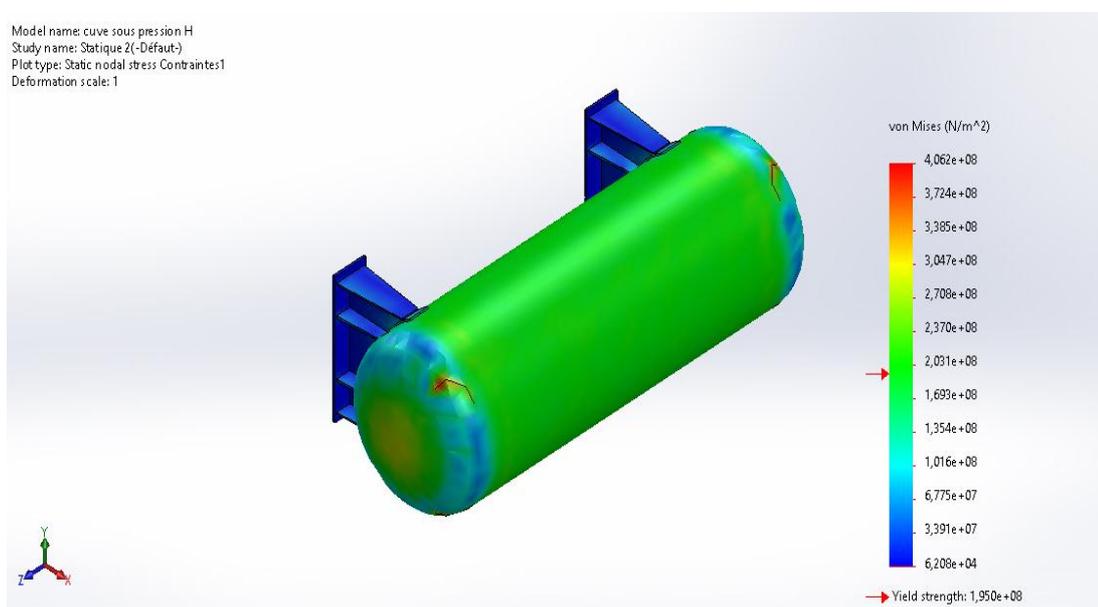


Fig.IV.17. Cuve sous pression H-statique 2-contraintes1.

Interprétation :

Cette simulation permet d'analyser les contraintes d'une cuve sous pression pour un matériau en acier inoxydable.

La figure IV.17, montre une déformation plastique, la cuve est dans le domaine élastique, la valeur de von mises est toujours dans la zone de sécurité (zone verte) ce qui explique que le matériau choisi ou les dimensions de la cuve sont largement grandes et résistantes en toutes contraintes appliquées sur cette cuve.

IV.8.5.2. Déplacement (déplacement résultant) :

Tableau IV.11. Déplacement :

Nome	Type	Min	Max
Déplacement	Résultat de déplacement	0.000 ^e +00mm Nœud : 81	2.284 ^e +00mm Nœud : 5592

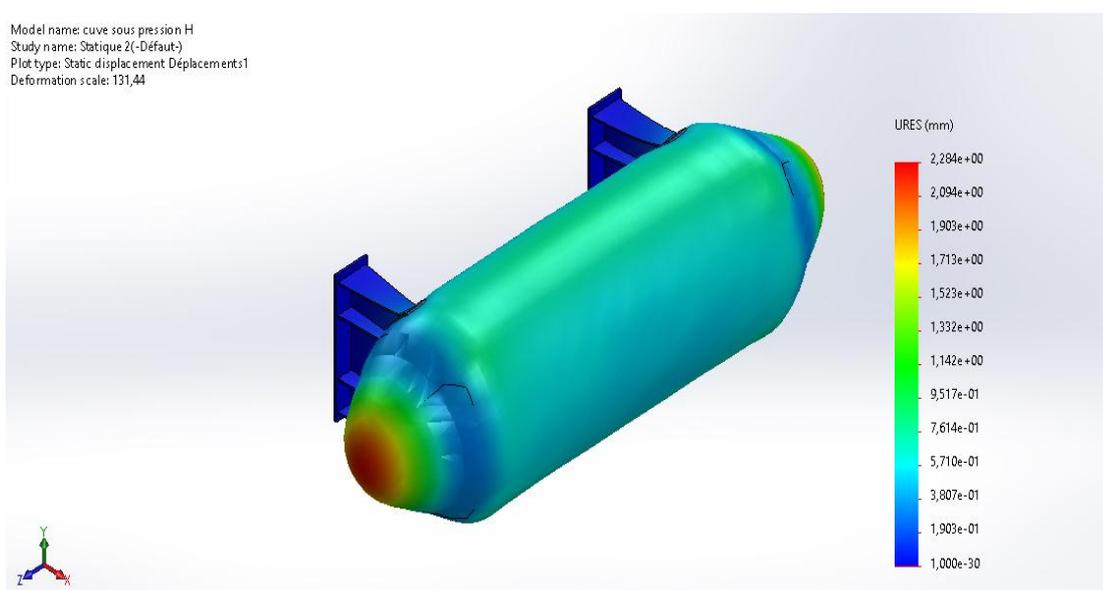


Fig.IV.18. Cuve sous pression H- statique 2-déplacement 1

Interprétation :

La figure ci-dessus montre le résultat obtenu du déplacement, nous avons remarqué que la forme de la cuve a changé mais il est toujours dans la zone de sécurité (zone bleu), ce qui permet de déduire que le matériau (acier inoxydable) peut résister aux efforts appliqués et le déplacement est rassuré, donc loin de la valeur limite.

IV.8.5.3. Déformation (équivalent) :

Tableau IV.12. Tension déformation :

Nome	Type	Min	Max
Déformation	Equivalent de tension	9.341 ^e -08 Elément : 1534	1.193 ^e -03 Elément : 9495

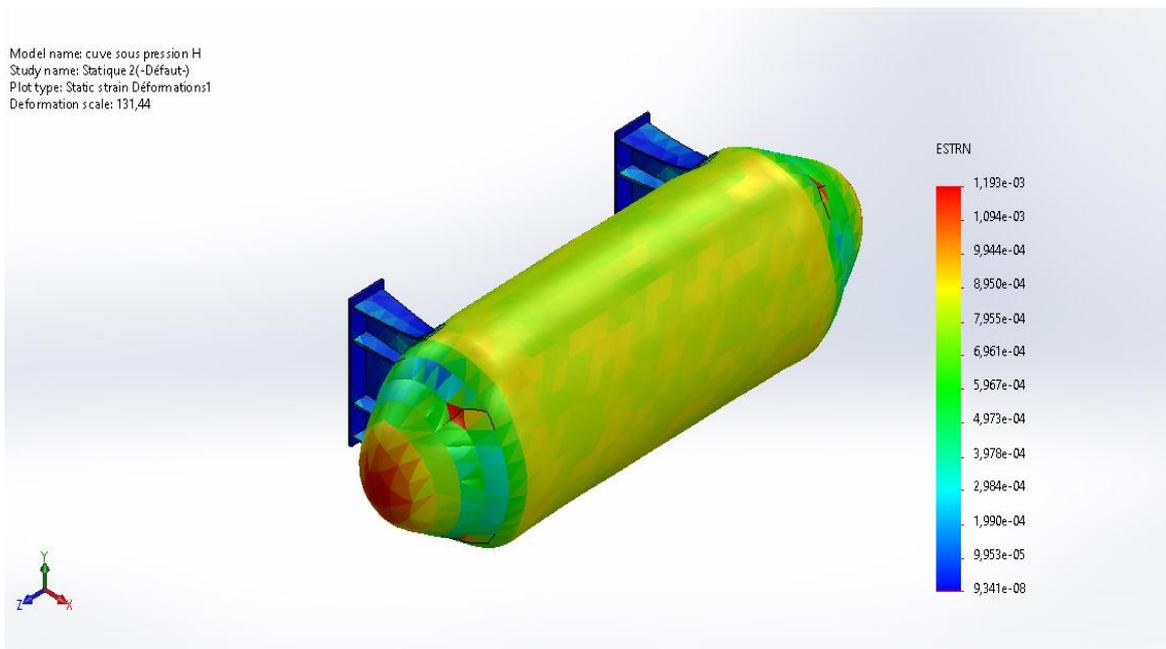


Fig.IV.19. Cuve sous pression H-statique 2-tension-déformation

Interprétation :

La figure IV.19, montre que la cuve a subit des déformations aux point d’application des pressions, ces déplacements sont toujours dans la zone de sécurité (zone jeune et verte) mais le corps résiste toujours en toutes sécurité, ce qui valide notre choix du matériau (acier inoxydable) qui as pour valeurs physiques ou mécanique plus large, donc il résiste bien aux efforts de déformation.

IV.9. Conclusion :

La simulation avec SOLIDWORKS a permis de vérifier le matériau choisi et sa résistance, aussi de tester plusieurs coefficients de sécurité, de savoir plusieurs résultats sans faire des essais expérimentaux et aboutir à sa destruction, donc perte de matière, perte de temps ce qui influe sur le cout et le prix de reviens de la pièce intégrée. L’objectif de la simulation est de faire plusieurs tests sur différents matériaux afin de choisir le plus adéquat à une conception plus ou moins judicieuse et économique.

CONCLUSION GENERALE

Au début, nous avons donné une idée générale sur la production et l'utilisation des cuves de stockage sous pression des fluides et des gaz. Notre objectif était d'étudier les cuves sous pression et de mieux comprendre les paramètres de construction ainsi que les procédés de soudures pour une conception fiable.

Le dimensionnement d'une cuve est une étape délicate nécessitant un savoir-faire pointu pour répondre aux exigences des normes et de la réglementation en vigueur. La prise en charge du volet sécurité est primordiale et nécessite des réflexions qui dépassent l'étude à l'utilisation finale pour se rendre compte de toutes les éventualités et d'éviter les défaillances. On remarque que la construction d'une cuve est basée sur les calculs théoriques, ainsi que la prise en compte du volet pratique. Cependant, la fabrication dépend des matériaux utilisés et de la qualification des ouvriers et des contrôleurs.

L'autre point que nous avons traité concerne la théorie de conception d'une cuve sous pression. A l'aide des différents calculs, nous avons pu déterminer les caractéristiques de la cuve ainsi que les tubulures (dimensions de la cuve, viroles, fonds bombés, épaisseurs, surfaces de pressions internes, etc ...).

Ensuite et concernant les assemblages, nous avons axé notre travail surtout sur le volet soudures sous ses différentes formes ainsi que les anomalies qui peuvent en découler. Dans notre cas, nous avons opté pour la soudure bout-à-bout en « V » ou en « X ». D'ailleurs, même les calculs ont confirmé par la suite que le choix de ces types de soudures était correct.

Enfin et pour avoir une idée plus claire et précise sur les résultats obtenus par calculs, nous avons effectué une simulation à l'aide du logiciel « Solid Works » et dont les résultats ont montré que les contraintes, les déformations et les déplacements étaient largement admissibles.

Nous espérons qu'à travers ce modeste travail, avoir contribué à mieux connaître et faire connaître le comportement des cuves à pressions ainsi que leur dimensionnement.

Références bibliographiques :

Chapitre I :

- [1] : <https://www.wattco.com/fr/casestudy/cuves-sous-pression/>
- [2] : https://fr.qwe.wiki/wiki/Pressure_vessel
- [3] : <https://fertilisation-edu.fr/bonnes-pratiques-d-usage/les-fertilisants-liquides/stockage/choix-de-la-cuve-de-stockage.html>
- [4] : <http://processs.free.fr/Pages/VersionWeb.php?page=0170>
- [5] : <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=4787>
- [6] : <https://www.casider.fr/acier-asa-516-gr70-p-20-fr>

Chapitre II :

- [7] : PDF "PDHonline Course M398 (3 PDH) ASME Section I & Section VIII Fundamentals" by VALTER NAGAMATI < updates@academia-mail.com > /2012
- [8] : PDF PRESSURE VESSELS, Part I: Pressure Vessel Design, Shell, Head, Nozzle and Basic Flange Study notes / Instructor: JAVIER TIRENTI (training@arvengconsulting.com)
www.arvengconsulting.com)
- [9] : Société d'ingénierie et de Réalisations [SAFIR] B.P.7059-12, Rue BACHIRI Belkacem Bel-Air ORAN (Algérie) / réservoir cylindrique horizontal de stockage de propane/butane liquéfié de capacité 100 m³ N° 43004-363-nc-002 (réalisation en epc du mini centre emplisseur GPL D'EL OUED _ 12/11/17
- [10] : Entreprise Nationale de charpente et de chaudronnerie E.N.C.C unité CR Métal / Siège : Avenue KRITLI MOKHTAR BP 01 Blida (09000) Algérie / note de calcul cuve sous pression enterrée - capacité 10 m³ -
- [11] : Société d'engineering et de construction métallique – METALENG filiale du groupe E.N.C.C / Note de calcul d'une cuve sous pression _ 19/12/2017

Chapitre III :

- [12] : Processes .free.fr/pages, version web php ; page 2210
- [13] : Conférence Internationale sur le Soudage, le CND et l'Industrie des Métaux, IC-WNDT-MI'10 _2010 / Centre de Recherche en Technologies Industrielles - CRTI - www.crti.dz
- [14] : PDF Pressure vessels (page 44 Tuesday 31 Mai 2011. 8.23 pm) /www.learneasy.com
- [15] : A.Dhooge, Techniques d'assemblage : le soudage ; Métallerie 65, spécial soudage, avril 2004
- [16] : J.Barralis et G.Maeder, Métallurgie, élaboration, structures, propriétés, normalisation, Afnor, Edition Nathan, septembre 2004
- [17] : W. F. Savage and E. F Nippes, A Study of Weld Interface Phenomena in a Low alloy steel, Welding Journal Research Supplement, pp 260s268s, 1976
- [18] : Frigaard, Grong and O.T. Midling. Metallurgical and materials transactions A, vol.32A, pp1189, 2001
- [19] : R.Blondeau, Procédés et application industrielle du soudage, Hermès science publication, Paris, 2001
- [20] : P.CHAUVIN, PDF "PTSI -SII FABRICATION MÉCANIQUE" les différents procédés d'obtention des pièces (COURS) by Fedi Boulares <updates@academia-mail.com>
- [21] : Memoire de master En vue de l'obtention du diplôme de Master Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département de Génie Mécanique Université Badji Mokhtare Annaba / Option : construction mécanique (THEME : Contrôle Non Destructif des joints de soudure) Promotion : 2018/2019

[22] : conception des cuves sous pressions / oxymax .fr / concevoir php

[23] : MEMOIRE DE FIN D'ETUDE En vue de l'obtention du diplôme de MASTER En Génie Mécanique Option : construction mécanique Université de M'sila (Thème : Caractérisation et contrôle non destructif des soudures) 2018/2019

[24] : Entreprise Nationale de charpente et de chaudronnerie E.N.C.C unité CR Métal / spécification procède de soudage WPS, affaire n°217053 fabrication de 3 cuves sous pression pour stockage du GPL de la capacité de 100 m³ chacune établie le _ 29/11/2017

Chapitre IV:

[25] : Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme Université Larbi Ben M'hidi Oum-El-Bouaghi Faculté de Sciences et Sciences Appliquées Département de Génie Mécanique: MASTER (Thème : Etude, Conception et Simulation Sous-SOLIDWORKS- d'un Système de freinage ; frein-disque type ABS et EBD) 2018/2019

[26] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Conception_assist%C3%A9e_par_ordinateur
<http://www.lyrfac.com/soutiens/knbase/pdf/cao.pdf>
Dr.BENDAOUDI Seif-Eddine. Conception Assistée par Ordinateur.pdf

Annex :

Exigences de la norme EN 1090-2	EXC 1	EXC 2	EXC 3	EXC 4
Généralités	EN ISO 3834-4	EN ISO 3834-3	EN ISO 3834-2	EN ISO 3834-2
Qualification des modes opératoires de soudage	<i>Sans exigence</i>	<i>Voir tableau 2</i>	<i>Voir tableau 2</i>	<i>Voir tableau 2</i>
Soudeurs et opérateurs soudeurs	Soudeurs : EN ISO 9606-1	Soudeurs : EN ISO 9606-1	Soudeurs : EN ISO 9606-1	Soudeurs : EN ISO 9606-1
	Opérateurs : EN ISO 14732	Opérateurs : EN ISO 14732	Opérateurs : EN ISO 14732	Opérateurs : EN ISO 14732
Coordination en soudage	<i>Sans exigence</i>	<i>Voir tableau 7</i>	<i>Voir tableau 7</i>	<i>Voir tableau 7</i>
Préparation des joints	<i>Sans exigence</i>	<i>Sans exigence</i>	Peintures primaires appliquées en usine non autorisées	Peintures primaires appliquées en usine non autorisées
Fixations provisoires	<i>Sans exigence</i>	<i>Sans exigence</i>	Utilisation à spécifier Découpage et burinage interdits	Utilisation à spécifier Découpage et burinage interdits
Soudures de pointage	<i>Sans exigence</i>	Mode opératoire de soudage qualifié	Mode opératoire de soudage qualifié	Mode opératoire de soudage qualifié
Soudures bout à bout	<i>Sans exigence</i>	Appendices si spécifiés	Appendices	Appendices
Soudures exécutées d'un seul côté	<i>Sans exigence</i>	Appendices si spécifiés	Support envers permanent continu	Support envers permanent continu
Exécution du soudage	<i>Sans exigence</i>	<i>Sans exigence</i>	Élimination des projections de soudure	Élimination des projections de soudure
Critères d'acceptation	EN ISO 5817 Niveau de qualité D si spécifié	EN ISO 5817 Niveau de qualité C généralement	EN ISO 5817 Niveau de qualité B	EN ISO 5817 Niveau de qualité B+
Réparation des soudures	Pas de QMOS exigé	Selon QMOS	Selon QMOS	Selon QMOS

TABLEAU 1 : APERÇU DES PRINCIPALES EXIGENCES RELATIVES AU SOUDAGE, SELON LES CLASSES D'EXECUTION

Temperature Use Limit ($^{\circ}$ F)	Plate Material	Pipe Material	Forging Material
Down to -50	SA-516 ^a All grades	SA 333 Gr. 1	SA 350 Gr. LF1, LF2
+33 to +775	SA-285 Gr. C SA-515 Gr. 55, 60, 65 SA-516 All grades	SA-53 SA-106	SA-181 Gr. I, II
+776 to +1000	SA-204 Gr. B, C SA-387 Gr. 11, 12 Class 1	SA-335 Gr. P1, P11, P12	SA-182 Gr. F1, F11, F12

Material Specification	Temperature Use Limit ($^{\circ}$ F)	Allowable Stress (psi)
SA-515 Gr. 60	700	14 400
	800	10 800
	900	6 500
SA-516 Gr. 70	700	16 600
	800	14 500
SA-53 Gr. A	900	12 000
	700	11 700
	800	9 300
	900	6 500
SA-106 Gr. B	700	14 400
	800	10 800
	900	6 500
SA-181 Gr. I	700	16 600
	800	12 000
	900	6 500

6 500Active Windows

Accédez aux paramètres de l'ordinateur