

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

Mémoire de Master

Filière : GENIE MÉCANIQUE
Spécialité : OUVRAGES CHAUDRONNÉS ET PIPING

THÈME

ÉTUDE ET CONCEPTION D'UN BAC DE STOCKAGE
DE GAZOIL A TOIT FIXE DE CAPACITE 27000m³
AVEC RESEAU DE TUYAUTERIE

Présenté par :

ROUIBET Sid-Ali

TAMAZIRT Tarek

Promoteur :

Mr IFRAH R.

Encadreur :

Mr TOUATI M.

Promotion 2019 - 2020

Remerciements

*Nous remercions le bon Dieu qui nous a donné la force, la patience et la volonté
Pour terminer ce travail.*

*Nous remercions également nos parents qui nous ont encouragés durant
Toutes nos études.*

*Nous tenons à remercier sincèrement notre promoteur Mr. Rachid IFRAH pour
Ses encouragements, sa disponibilité et ses orientations. Nous tenons à souligner
Son professionnalisme, ses qualités d'écoute, ses remarques pertinentes,
Sa gentillesse et sa méthode de travail durant notre projet.*

*Nos vifs remerciements vont aussi aux membres du jury
Pour avoir honoré notre soutenance.*

*Nous tenons à remercier tous nos enseignants au sein du Département
GENIE MECANIQUE pour
Leurs efforts à nous transmettre leur savoir.*

*Nous tenons à remercier aussi tout le personnel de la Société SONELGAZ de
Cap Djinet, pour nous avoir aidés, chacun à son niveau, pour la réalisation de ce
modeste travail et surtout Mr TIMADJER Ali.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
La réalisation de ce projet.*

Merci à tous et à toutes.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

Aux êtres les plus chers de ma vie, la source et la raison de mon existence, mes chers parents qui m'ont toujours encouragé. Que Dieu les protègent.

À mes très chers frères et sœurs,

À mes oncles et mes tantes à qui je dois beaucoup et que Dieu les bénisses et leurs accorde une longueur vie pleine de joie et de bonheur.

À mes très chers amis et leurs familles, surtout mon frère ALILOU

À mon binôme avec qui nous avons beaucoup travaillé pour réaliser ce travail

À toute la promotion MOCP18 2019/2020

À tous ceux qui m'ont aimé et qui m'ont respecté

SIDALI



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

Aux êtres les plus chers de ma vie, la source et la raison de mon existence, mes chers parents qui m'ont toujours encouragé. Que Dieu les protègent.

À la mémoire de mon cher Frère Farid, qu'aucune dédicace ne serait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour lui. Dieu le retient avec sa large miséricorde dans ses vastes Paradis.

À tous ceux qui m'ont aimé et qui m'ont respecté.

À mes très chers frères et sœurs.

À mes chers amis et leurs familles.

À mon binôme avec qui nous avons beaucoup travaillé pour réaliser ce travail.

À toute la promotion MOCP 18 2019/2020

TAREK



Sommaire

Sommaire

Introduction générale..... 1

Chapitre I

Présentation du sujet

I. Présentation du sujet..... 2

I.1. Généralités sur les réservoirs..... 2

 I.1.1. Introduction..... 2

 I.1.2. Organigramme de types de réservoirs 2

 I.1.3. Réservoirs sous pression 3

 I.1.3.1. Sphères..... 3

 I.1.3.2. Sphéroïdes..... 3

 I.1.3.3. Ballons 4

 I.1.4. Réservoirs cylindriques..... 4

 I.1.4.1. Bacs ouverts (sans toit) 5

 I.1.4.2. Réservoirs à toit fixe 5

 I.1.4.3. Réservoirs à toit flottants..... 7

I.2. Présentation de projet 8

 I.2.1. Introduction..... 8

 I.2.2. Notre sujet..... 8

 I.2.3. Données de calcul..... 9

 I.2.4. Codes et normes 9

I.3. Conclusion10

Chapitre II

Etude Climatique (vent)

II. Etude climatique (vent)11

 II.1. Introduction.....11

 II.2. Données de calcul.....11

 II.3. Effet du vent.....11

Sommaire

II.3.1.	Pression dynamique	11
II.3.2.	Pression dynamique normale et extrême : (Règlement NV65 page 36).....	11
II.3.3.	Pression dynamique de base	11
II.3.4.	Effet de la hauteur au-dessus du sol.....	12
II.3.5.	Effet de site	12
II.3.6.	Effet de masque	12
II.3.7.	Effet de dimension	12
II.3.8.	Rapport de dimensions (λ)	13
II.3.9.	Coefficient global de trainée (C_t).....	13
II.3.10.	Amplification dynamique	13
II.3.11.	Coefficient de réponse.....	14
II.3.12.	Coefficient de pulsation	14
II.3.13.	Actions extérieures du vent (C_e).....	14
II.3.14.	Actions intérieures de vent C_i	16
II.3.15.	Actions résultantes (c_e-c_i)	17
II.3.16.	Charge de vent	19
II.4.	Étude de neige	19
II.4.1.	Charge de neige sur la toiture	19
II.4.2.	Calcul du coefficient d'ajustement des charges	19
II.5.	Conclusion	20

Chapitre III

Calcul du fond et de la robe

III.	Calcul du fond et de la robe	21
III.1.	Introduction	21
III.2.	Critères de choix des matériaux	21
III.3.	Conception du fond	23
III.3.1.	Tôles centrales du fond.....	24
III.3.2.	Tôles marginales de fond.....	25
III.3.3.	Conception de la robe.....	28
III.3.3.1.	Calcul du nombre de viroles.....	28
III.3.3.2.	Calcul du nombre de tôles pour chaque virole.....	29

Sommaire

III.3.3.3. Calcul des épaisseurs de viroles	29
III.3.3.4. Calcul du poids total de la robe	32
III.3.3.5. Masse totale de la robe	33
III.3.3.6. Cornière de rive.....	33
III.4. Conclusion.....	34

Chapitre IV

Calcul du toit

IV. Calcul du toit	35
IV.1. Introduction	35
IV.2. Réservoir à toit fixe supporté	35
IV.3. Données du toit du réservoir	36
IV.4. Nombre et poids des tôles.....	36
IV.5. Dimensionnement des entretoises.....	37
IV.5.1. Vérification de la résistance des entretoises	37
IV.5.2. Résolution du 1 ^{er} système	38
IV.5.2.1. Charges permanentes G	38
IV.5.2.2. Charges variables q	39
IV.5.2.3. Combinaisons des charges	39
IV.5.2.4. Vérification de la flèche.....	39
IV.5.2.5. Calcul du moment fléchissant suivant les deux axes.....	40
IV.5.2.6. Moment fléchissant sur l'axe $y - y'$	40
IV.5.2.7. Moment fléchissant sur l'axe $z - z'$	40
IV.5.3. Résolution du 2 ^{ème} système	41
IV.5.3.1. Vérification de la stabilité (la flèche).....	41
IV.5.4. Vérification de la flèche en superposant les deux systèmes 1 et 2	41
IV.5.4.1. Calcul de moments fléchissant suivant les deux axes	42
IV.5.4.2. Vérification de la résistance de l'entretoise (flexion bi-axiale).....	42
IV.5.5. Calcul du poids de l'entretoise.....	43
IV.6. Vérification des chevrons	43
IV.6.1. Caractéristiques de l'IPE 400 (S235).....	43
IV.6.2. Résolution de 1 ^{er} système.....	44

Sommaire

IV.6.2.1. Charges permanentes G	44
IV.6.2.2. Charges variables q	45
IV.6.2.3. Combinaison des charges.....	45
IV.6.2.4. Vérification de la flèche.....	45
IV.6.3. Résolution de 2 ^{ème} système	46
IV.6.3.1. Vérification de la stabilité (la flèche)	46
IV.6.3.2. Vérification de la résistance de chevron (flexion simple)	47
IV.7. Etude des poteaux	47
IV.7.1. Classe de section	48
IV.7.1.1. Charges permanentes Gp	49
IV.7.1.2. Vérification à la compression.....	50
IV.7.1.3. Vérification au flambement	51
IV.7.1.4. Vérification au flambement	52
IV.8. Conclusion.....	54

Chapitre V

Stabilité du réservoir

V. Stabilité du réservoir	55
V.1. Étude de vent.....	55
V.1.1. Introduction.....	55
V.1.2. Calcul du module d'inertie minimum Z_{min}	55
V.1.3. Stabilité du réservoir sous le vent	56
V.1.3.1. Calcul de la hauteur maximale non raidie.....	56
V.1.3.2. Calcul de la hauteur transformée.....	56
V.1.4. Stabilité du réservoir au vent	58
V.2. Étude sismique	61
V.2.1. Introduction.....	61
V.2.2. Données du site et de l'ouvrage.....	62
V.2.3. Moment de renversement.....	62
V.2.3.1. Détermination des coefficients d'accélération de spectre de réponse impulsive et convective.....	63
V.2.3.2. Détermination du poids de la masse effective et convective du contenu du réservoir	64

Sommaire

V.2.3.3.	Détermination du centre de la force sismique latérale X_i et X_c	65
V.2.4.	Conditions pour un réservoir auto-ancré	66
V.2.4.1.	Vérification de la 1 ^{ère} condition (calcul du rapport d'ancrage J)	66
V.2.4.2.	Vérification de la 2 ^{ème} condition	67
V.2.4.3.	Vérification de la 3 ^{ème} condition	67
V.2.4.4.	Vérification de la 4 ^{ème} condition	68
V.2.5.	Calcul d'ancrage.....	68
V.2.5.1.	Caractéristiques d'ancrage avec les tiges	69
V.2.5.2.	Dimensionnement des tiges d'ancrage	69
V.2.6.	Calcul de la résistance du réservoir.....	71
V.2.6.1.	Résistance à la rupture fond-robe.....	71
V.2.6.2.	Résistance aux glissements dus aux forces de cisaillement	72
V.3.	Conclusion	73

Chapitre VI

Etude de la tuyauterie

VI.	Etude de la tuyauterie	74
VI.1.	Introduction	74
VI.2.	Pompes.....	74
VI.2.1.	Différents types de pompes.....	74
VI.2.2.	Choix de la pompe (Dimensionnement hydraulique).....	74
VI.2.2.1.	Débit.....	74
VI.2.2.2.	Hauteur manométrique	74
VI.2.2.3.	Rendement.....	75
VI.3.	Choix du matériau constituant les canalisations	75
VI.3.1.	Critères de sélection de la nuance d'acier	75
VI.3.2.	Caractérisations des aciers API.....	75
VI.3.3.	Nuance du matériau choisi.....	76
VI.4.	Données de calcul	77
VI.5.	Calcul dimensionnel de la tuyauterie (réseau de fuel)	77
VI.6.	Tuyauterie d'aspiration.....	78
VI.6.1.	Tuyauterie de refoulement	80

Sommaire

VI.7.	Formule de calcul des pertes de charge	81
VI.7.1.	Pertes de charge de l'installation	81
VI.7.2.	Pertes de charge linéaires.....	81
VI.7.3.	Pertes de charge singulières	82
VI.7.4.	Hauteur maximale à l'aspiration de la pompe (NPSH _D)	82
VI.7.5.	Caractéristique de l'installation (HMT, QV).....	82
VI.7.6.	Perte de charge totale de la conduite de fuel	83
VI.8.	Simulation avec Auto-pipe	87
VI.8.1.	Présentation de logiciel.....	87
VI.8.2.	Calcul des contraintes ou « stress »	87
VI.8.2.1.	But du calcul de stress	87
VI.8.2.2.	Ce qu'on doit vérifier à partir de cette simulation	87
VI.8.2.3.	Etapes pour faire la simulation	87
VI.8.2.4.	Supports.....	88
VI.8.2.5.	Simulation du réseau	88
VI.9.	Conclusion.....	90

Chapitre VII

Accessoires du réservoir

VII.	Accessoires du réservoir	91
VII.1.	Introduction	91
VII.2.	Trou d'homme sur robe.....	91
VII.3.	Tubulures	91
VII.4.	Porte de visite	92
VII.5.	Cuvette	92
VII.6.	Escaliers hélicoïdal	93
VII.6.1.	Recommandation d'après l'API.....	93
VII.6.2.	Etude de vent	94
VII.6.2.1.	Rapport de dimension.....	94
VII.6.2.2.	Actions résultantes sur l'escalier	95
VII.6.2.3.	Charge du vent.....	95
VII.6.3.	Dimensionnement des escaliers hélicoïdaux	95

Sommaire

VII.6.4.	Vérification des marches	96
VII.6.4.1.	Evaluation des charges	96
VII.6.4.2.	Vérification de La flèche	96
VII.6.4.3.	Vérification de la résistance.....	97
VII.6.5.	Calcul de limon.....	97
VII.6.5.1.	Evaluation des charges	97
VII.6.5.2.	Vérification de la flèche	98
VII.6.5.3.	Vérification de la résistance.....	98
VII.6.5.4.	Vérification de la compression.....	98
VII.6.6.	Calcul du palier de repos	99
VII .6.6. 1.	Tôle	100
VII.6.6.2.	Elément 1	100
VII.6.6.3.	Elément 2	101
VII.6.7.	Calcul de la console.....	102
VII.6.7.1.	Evaluation des charges	103
VII.7.	Conclusion.....	104

Chapitre VIII

Procédure de montage et de contrôle du bac

VIII.	Procédure de montage et de contrôle de bac	105
VIII.1.	Introduction.....	105
VIII.2.	Codes – Règlements	105
VIII.3.	Préparation du chantier	105
VIII.3.1.	Réceptions des travaux de génie civil.....	105
VIII.3.2.	Documentations techniques	105
VIII.3.3.	Procédé de soudage	106
VIII.4.	Qualifications des procédés de soudage	106
VIII.5.	Qualifications des soudures.....	106
VIII.6.	Montage du fond	106
VIII.6.1.	Repérage.....	106
VIII.6.2.	Protection anticorrosive du fond	107
VIII.6.3.	Montage du fond.....	107

Sommaire

VIII.6.4.	Pointage du fond	107
VIII.6.5.	Soudage du fond	108
VIII.7.	Montage de la robe	108
VIII.7.1.	Préparation des tôles.....	108
VIII.7.2.	Montage des viroles	108
VIII.7.4.	Pointage et soudage de la 2 ^{ème} virole	109
VIII.7.5.	Pointage et soudage des joints entre la première et la deuxième virole.....	110
VIII.7.6.	Soudage du fond et de la première virole.....	110
VIII.7.7.	Exécution de la troisième virole	110
VIII.7.8.	Exécution des autres viroles.....	111
VIII.7.9.	Montage et soudage de la cornière de rive	111
VIII.7.10.	Fixation des tôles lors du montage	111
VIII.7.11.	Montage des escaliers du bac	112
VIII.8.	Montage du toit fixe.....	112
VIII.8.1.	Montage de la charpente du toit	112
VIII.8.2.	Montage et soudage des tôles du toit	113
VIII.8.3.	Accessoire divers	113
VIII.9.	Contrôle et essais.....	113
VIII.9.1.	Organisation de contrôle.....	113
VIII.9.2.	Contrôle visuel et dimensionnel	114
VIII.9.3.	Contrôle des matériaux de base.....	114
VIII.9.4.	Contrôle des matériaux d'apport	114
VIII.9.5.	Contrôle radiographique	114
VIII.9.6.	Contrôle sous vide.....	114
VIII.9.7.	Épreuve hydraulique	114
VIII.9.8.	Autres contrôles	114
VIII.9.8.1.	Préparation	114
VIII.9.8.2.	Inspection dimensionnelle	115
VIII.9.8.2.1.	Réception de la fondation	115
VIII.9.8.2.2.	Repère de position	115
VIII.9.8.2.3.	Précision pour l'ajustement	115
VIII.9.8.2.4.	Rotondité.....	116
VIII.9.8.2.5.	Verticalité.....	116

Sommaire

VIII.9.8.2.6. Déviation locale	117
VIII.9.8.2.7. Essai et inspection des tôles de renfort	117
VIII.10. Dossier qualité du bac de stockage	117
VIII.11. Conclusion	118

Chapitre IX

Essais et Protection

IX. Essais et Protection	119
IX.1. Introduction	119
IX.2. Essais	119
IX.2.1. Généralités sur les essais	119
IX.2.2. Essai sous vide	119
IX.2.3. Essai pneumatique.....	121
IX.2.4. Essai d'étanchéité à la chaux + gas-oil	121
IX.2.5. Essai hydrostatique.....	121
IX.2.6. Vidange	122
IX.3. Protection	122
IX.3.1. Protection par peinture (contre corrosion).....	122
IX.3.2. Application de la peinture.....	125
IX.3.3. Conditions générales de contrôle et de réception.....	126
IX.4. Traitement thermique (Cas particulier).....	126
IX.5. Système à mousse (contre l'incendie)	126
IX.6. Système de refroidissement	126
IX.7. Mise à la terre	127
IX.8. Conclusion.....	127

Sommaire

Chapitre X

Soudage

X.	Soudage.....	128
X.1.	Procédures de soudage.....	128
X.1.1.	Introduction.....	128
X.1.2.	Joint de soudure.....	128
X.1.2.1.	Joints bout à double soudure.....	128
X.1.2.2.	Joints à recouvrement à double soudure.....	128
X.1.2.3.	Joint à recouvrement à simple soudure.....	128
X.1.2.4.	Soudure bout à bout.....	128
X.1.2.5.	Soudure d'angle.....	129
X.1.2.6.	Soudure d'angle normale.....	129
X.1.2.7.	Soudure de pointage.....	129
X.1.3.	Choix du procédé de soudage.....	129
X.1.4.	Choix d'électrode de soudage.....	130
X.1.5.	Procédés et détails de soudage.....	131
X.2.	Procédure de contrôle et d'inspection des soudures.....	132
X.2.1.	Contrôle avant le soudage (contrôle qualitatif).....	132
X.2.2.	Contrôle en cours de soudage.....	133
X.2.3.	Contrôle après le soudage.....	133
X.3.	Spécifications de soudage.....	135
X.3.1.	Tôles de fond.....	135
X.3.2.	Tôles marginales.....	136
X.3.3.	Pied de la robe.....	137
X.4.	Soudage des joints horizontaux de la robe.....	138
X.4.1.	Soudage de joint entre V1 et V2.....	138
X.4.2.	Soudage de joint entre V2 et V3.....	139
X.4.3.	Soudage de joint entre V3 et V4.....	140
X.4.4.	Soudage de joint entre V4 et V5.....	141
X.4.5.	Soudage de joint entre V5 et V6.....	142
X.4.6.	Soudage de joint entre V6 et V7.....	143
X.4.7.	Soudage de joint entre V7 et V8.....	144

Sommaire

X.5. Soudage des joints verticaux de la robe	145
X.6. Joint de soudage de toit	154
X.7. Conclusion	154
Conclusion générale	155
Références bibliographiques	156

Liste des figures

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Présentation du sujet

Figure I. 1 : Organigramme des réservoirs.	2
Figure I. 2: Réservoirs sphériques.	3
Figure I. 3: Sphéroïdes.....	3
Figure I. 4: Ballon de stockage.....	4
Figure I. 5: Réservoirs cylindriques.....	4
Figure I. 6: Bac ouvert.....	5
Figure I. 7: Réservoir toit fixe supporté par poteau central.	5
Figure I. 8: Réservoir à toit fixe supporté par plusieurs poteaux.....	6
Figure I. 9: Réservoirs à toit fixe autoportant.....	6
Figure I. 10: Réservoir à toit fixe à écran flottant.	7
Figure I. 11: Réservoir toit flottant simple pont.....	7
Figure I. 12: Réservoir à toit flottant double pont.....	8

Chapitre II

Etude Climatique (vent)

Figure II. 1: Forme polaire des actions extérieures pour $\gamma = 1$ et $\gamma = 1,3$	15
Figure II. 2 : Forme polaire d'actions extérieures.....	16
Figure II. 3: Action intérieurs au vent (réservoir plein).....	16
Figure II. 4: Action intérieurs au vent (réservoir vide).....	17
Figure II. 5: Action résultants unitaires.....	18
Figure II. 6 : Action résultants unitaires (réservoir vide).....	18

Liste des figures

Chapitre III

Calcul de fond et la robe

Figure III. 1: Conception de montage du fond avec la robe.....	21
Figure III. 2: Partie de fond du bac.....	24
Figure III. 3: Recouvrement des tôles centrales de fond.	24
Figure III. 4: Tôle marginale.....	27
Figure III. 5: Robe.....	28
Figure III. 6: Disposition des viroles de la robe.....	32
Figure III. 7: Cornière de rive.	34

Chapitre IV

Calcul du toit

Figure IV. 1: Vue de toit fixe.	35
Figure IV. 2: Schéma statique de la charpente du toit fixe.	36
Figure IV. 3: Profilé IPE 240.	37
Figure IV. 4: Modélisation du chargement d'une entretoise.....	38
Figure IV. 5: Charges réparties sur l'entretoise.	41
Figure IV. 6: Profilé IPE 400.	43
Figure IV. 7: Schéma de chargement du chevron.	44
Figure IV. 8: Schéma statique de 2 ^{ème} système de chevron.	46
Figure IV. 9: Dimensions et schéma du poteau.	48
Figure IV. 10: Poteau central.	50
Figure IV. 11: Poteau intermédiaire 2.....	52

Liste des figures

Chapitre V

Stabilité de réservoir

Figure V. 1: Patte d'éléphant.....	55
Figure V. 2: Tiges d'ancrage.....	69

Chapitre VI

Etude de la tuyauterie

Figure VI. 1: Modélisation de l'isométrie de la tuyauterie.....	88
Figure VI. 2: Cartographie : cas de la gravité.....	89
Figure VI. 3: Cartographie : cas de stress.....	89

Chapitre VII

Accessoires du réservoir

Figure VII. 1: Trou d'homme sur robe de fond.....	91
Figure VII. 2: Tubulures.....	92
Figure VII. 3: Cuvette.....	93
Figure VII. 4: Schéma de l'escalier hélicoïdal.....	94
Figure VII. 5: Marche de l'escalier.....	94
Figure VII. 6: Chargement d'un limon.....	95
Figure VII. 7: Vue de l'escalier hélicoïdal.....	99
Figure VII. 8 : Palier de repos.....	99
Figure VII. 9: Représentation de la console.....	103

Liste des figures

Chapitre VIII

Procédure de montage et de contrôle de bac

Figure VIII. 1: Soudage tôle marginale.....	107
Figure VIII. 2: Montage d'une virole.....	109
Figure VIII. 3: Montage virole.	110
Figure VIII. 4: Soudage du fond et de la première virole.	110
Figure VIII. 5: Montage et soudage de la Cornière de rive.	111
Figure VIII. 6: Montage des escaliers des bacs.	112

Chapitre IX

Essais et Protection

Figure IX. 1: Boite sous vide (ventouse).....	120
Figure IX. 2 : Sable sec.....	123
Figure IX. 3: Sableuse.	123
Figure IX. 4: Casque de protection.....	124
Figure IX. 5: Régulateur d'air.	124
Figure IX. 6: Flexible.	124
Figure IX. 7: Application de la peinture sur la robe.....	126
Figure IX. 8: Mise à la terre.	127

Chapitre X

Soudage

Figure X. 1: Schéma de principe du soudage à l'arc.....	129
Figure X. 2: Electrode.....	130

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II. 1: Valeurs d'actions extérieures.	15
Tableau III. 1: Caractéristiques mécanique.	22
Tableau III. 2: Composition chimique.	22
Tableau III. 3: Composition chimique de l'acier A283 Gr C.....	22
Tableau III. 4: Récapitulatif des épaisseurs des tôles de la robe.	31
Tableau III. 5: Poids des viroles de la robe	33
Tableau V. 1: Résumé des valeurs de la hauteur transformée.....	57
Tableau V. 2: Résumé des Résultats.....	60
Tableau V. 3: Facteurs de calculs.	65
Tableau VI. 1: Propriétés mécaniques des aciers pour tubes selon la norme API.	76
Tableau VI. 2: Représente Les compositions chimiques de grade B.....	77
Tableau VI. 3: Caractéristiques mécaniques pour grade B selon API 5L.	77
Tableau VI. 4: Epaisseur standard des pipes.	78
Tableau VI. 5: Singularité coté aspiration.	84
Tableau VI. 6: Singularité coté refoulement.....	86
Tableau VIII. 1: Tolérances dimensionnelles pour les tubulures ou les trous d'homme sur la robe.	116
Tableau X. 1: Caractéristiques de l'électrode enrobée.	130

Nomenclature

Nomenclature

Nomenclature

Symbole	Signification	Unité
P	Pression	bar
T	Température	C°
L	Longueur	m
d	Distance	m
∅	Diamètre de conduit	pouce
ρ	Masse volumique	kg/m ³
C	Capacité	m ³
H	Hauteur	m
G	Densité	0,84
V	Vitesse	km/h
S	Surcharge de neige	dan/m ²
q	Pression dynamique	daN/m ²
Km	Coefficient de masque	1
KS	Effet de site	1,35
λ	Rapport de dimensions	/
ε	Coefficient de réponse	/
τ	Coefficient de pulsation	/
Ct	Coefficient global de trainée	/
Q	Charge de vent	daN/m ²
μ	Coefficient d'ajustement	/
b	Angle entre les chevrons	C°
a	Angle de la pente du pont	C°
d	Fleche	cm
M	Moment	daN.m
W	Poids de la masse effective	N
Z_{min}	Module d'inertie minimale de section	cm ³
η	Rendement	/
Δ H	Pertes de charge	bar

Abréviation

Abréviation

Abréviation

API : American Petroleum Institute.

ASTM : American Society of Testing and Materials.

ASME : American Society of Mechanical Engineers.

RNV : Règlement Neige et Vent.

RPA : Règles Parasismiques Algériennes.

CE : Carbone Equivalent.

ELU : Etat Limite Ultime.

ELS : Etat Limite Service.

HMT : Hauteur Manométrique Totale.

EN : Norme Européenne.

NF : Norme Française.

ARH : Autorité de Régulation des Hydrocarbures.

AWS : American Welding Society.

Introduction générale

Introduction générale

Durant les dernières années, l'industrie des hydrocarbures a connu des progrès considérables de par le monde, et plus particulièrement en Algérie, que ce soit dans le domaine de la recherche, de la production, de la pétrochimie, ou du stockage. Ce dernier s'est signalé à travers la construction de réservoirs de différentes capacités et différents types, la découverte et la mise au point de nouvelles techniques et méthodes de stockage. Inutile de souligner que le stockage est un secteur stratégique dans l'industrie pétrolière.

Dans l'industrie pétrolière, les réservoirs sont d'une importance vitale pour la conservation et le stockage, stratégique parfois, souvent pour de longues périodes de temps, de produits chers, volatiles et dangereux. Ils permettent d'assurer une pérennité de la production malgré les interruptions accidentelles. Les réservoirs de stockage sont indispensables dans l'exploitation des champs pétroliers.

Pour le choix d'un réservoir on doit tenir compte des fiches techniques de construction du bac. Le type de réservoir à utiliser dépend de la nature du produit : certains produits doivent être conservés sous haute pression, tandis que d'autres se conservent sous moyenne pression. Les bacs de stockage sont des ouvrages de grandes dimensions, ils sont fragiles, leur destruction peut être provoquée par le feu, les explosions, la corrosion et les séismes.

Les réservoirs étudiés dans le cadre de ce mémoire seront réalisés conformément aux recommandations techniques selon la norme **API .650.Std**, qui couvre les exigences relatives à la matière, aux calculs, à la construction, au montage et essais des réservoirs de stockage verticaux cylindriques en acier soudé, de différentes dimensions et capacités, sous pressions internes voisines de la pression atmosphérique.

Cette norme est basée sur l'ensemble des connaissances et expériences acquises par les fabricants de réservoirs de stockage en acier soudé, de différentes tailles et capacités. Les procédures de soudage ainsi que les détails y afférents, seront établis conformément au code ASME section IX.

Notre sujet :

Etude globale d'un réservoir cylindrique à toit fixe avec le dimensionnement d'un tronçon de tuyauterie.

Chapitre I

Présentation du sujet

I. Présentation du sujet

I.1. Généralité sur les réservoirs

I.1.1. Introduction

Les produits pétroliers sont très importants dans notre vie, car ils sont principalement la source de l'énergie (gasoil ou essence pour automobile, électricité, bitume etc), alors qu'ils nécessitent en toute évidence des techniques de stockage afin de simplifier l'utilisation totale de cette énergie.

Dans le cadre de cet immense besoin, l'être humain a réussi à inventer ces techniques, qui se représentent dans des plusieurs types de bac de stockages, chacun est réalisé pour la réservation d'un produit spécifique.

I.1.2. Organigramme de types de réservoirs

La gamme des produits industriels stockés est très étendue et leurs caractéristiques sont très différentes.

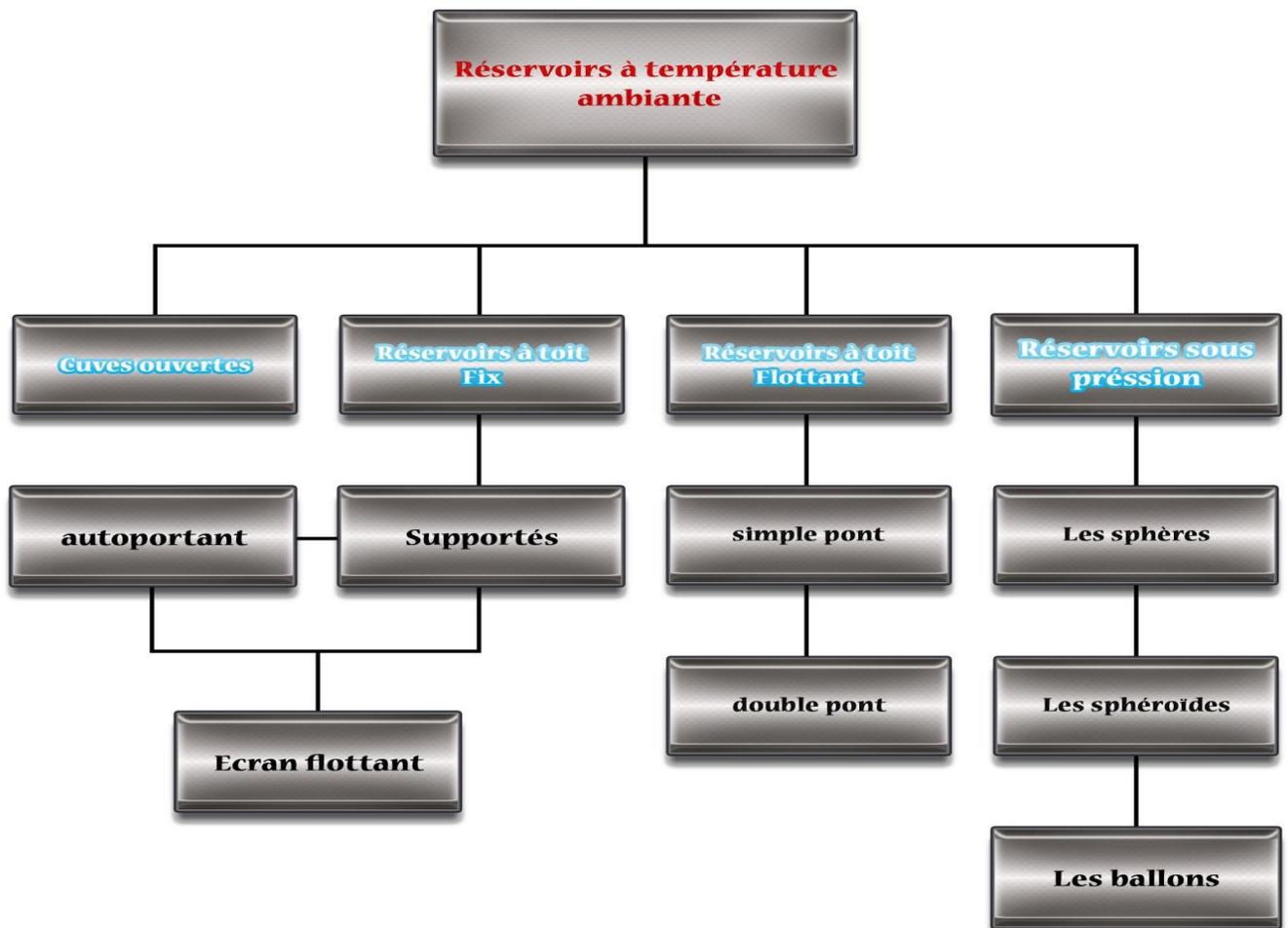


Figure I. 1 : Organigramme des réservoirs.

I.1.3. Réservoirs sous pression

I.1.3.1. Sphères

Elles représentent la forme idéale pour les stockages sous **forte pression** car c'est sur ce type de coque que le niveau des contraintes de membrane reste le plus faible. Elles permettent de réaliser économiquement des capacités importantes.

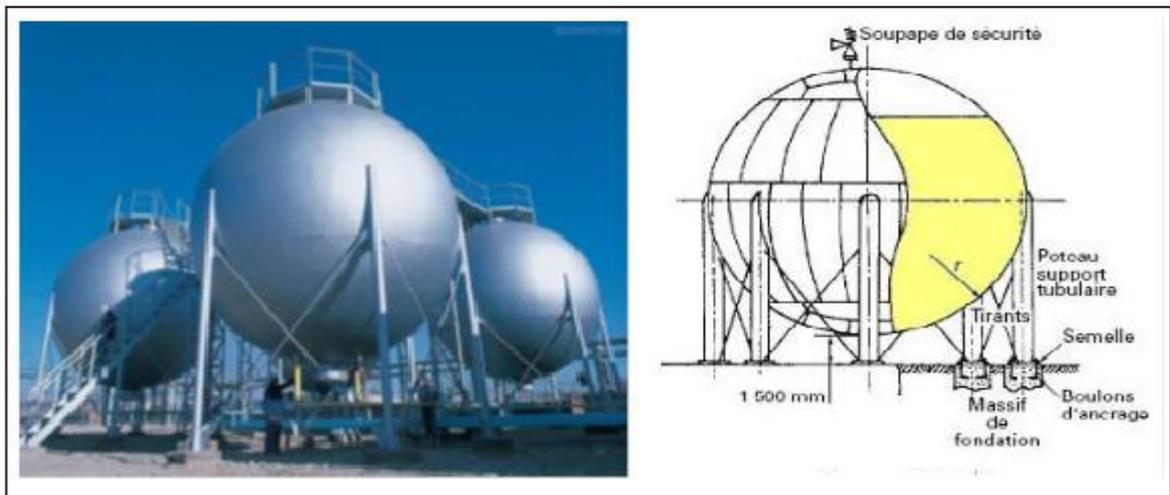


Figure I. 2: Réservoirs sphériques.

I.1.3.2. Sphéroïdes

Ils sont utilisés comme moyen de stockage intermédiaire entre les réservoirs cylindriques verticaux sous faible pression et les ballons ou les sphères sous forte pression.

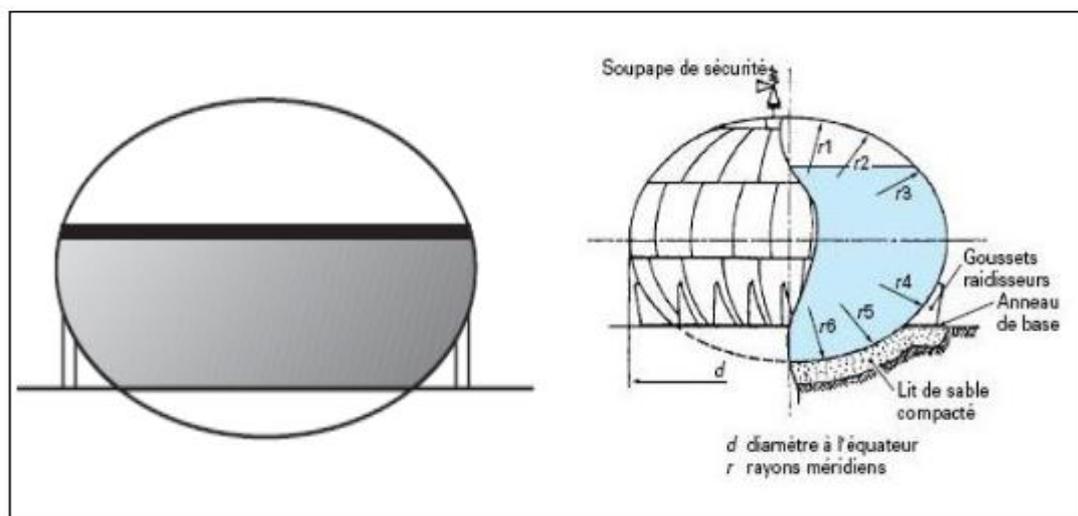


Figure I. 3: Sphéroïdes.

I.1.3.3. Ballons

Ce genre de réservoir est destiné en premier choix pour le stockage des produits qui nécessitent une pression importante, ils peuvent être aérien ou placés sous un talus de terre.

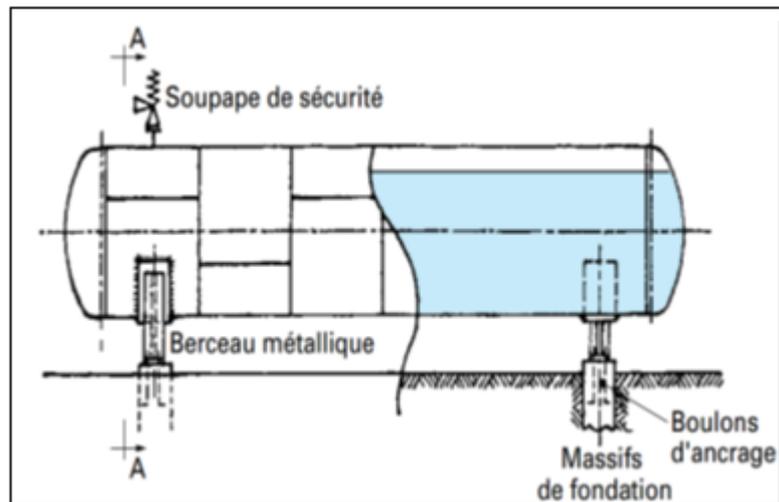


Figure I. 4: Ballon de stockage.

I.1.4. Réservoirs cylindriques

Les réservoirs cylindriques verticaux à fond plat que l'on peut différencier par le type de couverture.



Figure I. 5: Réservoirs cylindriques.

I.1.4.1. Bacs ouverts (sans toit)

Les cuves ouvertes ne comportent pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides que l'on peut, sans danger, pour leur qualité ou pour l'environnement, exposer à l'air libre.



Figure I. 6: Bac ouvert.

I.1.4.2. Réservoirs à toit fixe

Les réservoirs à toit fixe permettent une meilleure conservation des liquides de faible tension de vapeur qui sont plutôt dangereux ou polluants.

- **Réservoirs à toit fixe supporté**

Les toits fixes supportés ont un profil conique assez plat avec une pente recommandée de 1/16 ou 1/12, notamment lorsque le toit est calorifugé. Ces toits sont construits d'une charpente supportés par un ou plusieurs poteaux, en tubes ou en profilés, qui s'appuient sur le fond de l'ouvrage.

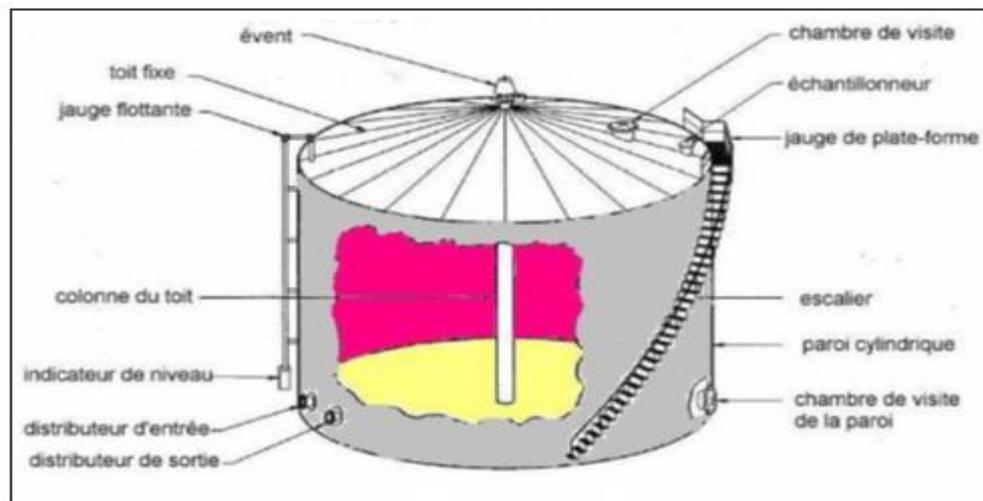


Figure I. 7: Réservoir à toit fixe supporté par poteau central.

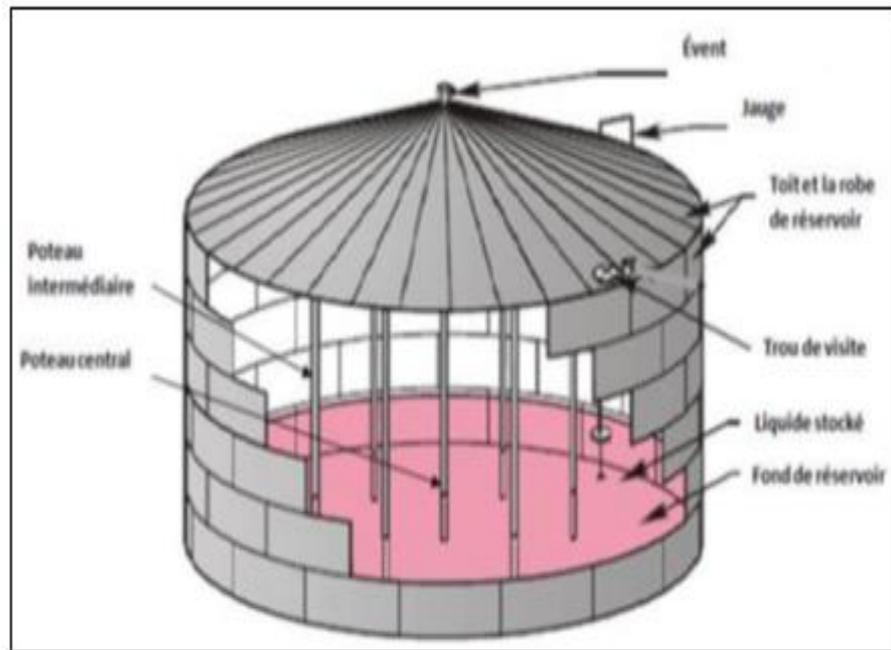


Figure I. 8: Réservoir à toit fixe supporté par plusieurs poteaux.

- **Réservoir à toit fixe autoportant**

Les toits fixes autoportants sont soit coniques avec une pente de $1/5$ ou $1/6$, soit sphériques avec rayon de courbure compris entre 0,8 et 1,5 fois le diamètre du réservoir.

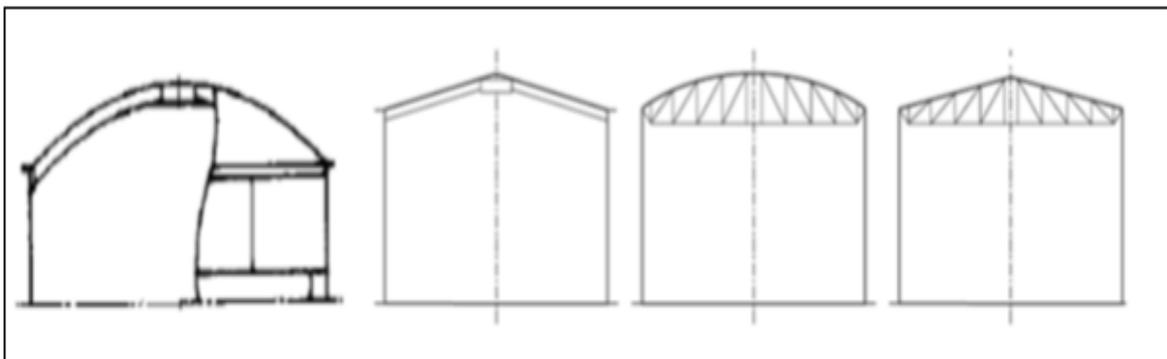


Figure I. 9: Réservoirs à toit fixe autoportant.

- **Entre ces deux types il existe aussi :**

- ✓ **Réservoirs à toit fixe écran flottant :** ce sont des réservoirs à toit fixe dans les quels est installés un toit flottant, également désigné sous l'appellation d'écran flottant. Leurs toiture sont soit supporté ou autoportant.

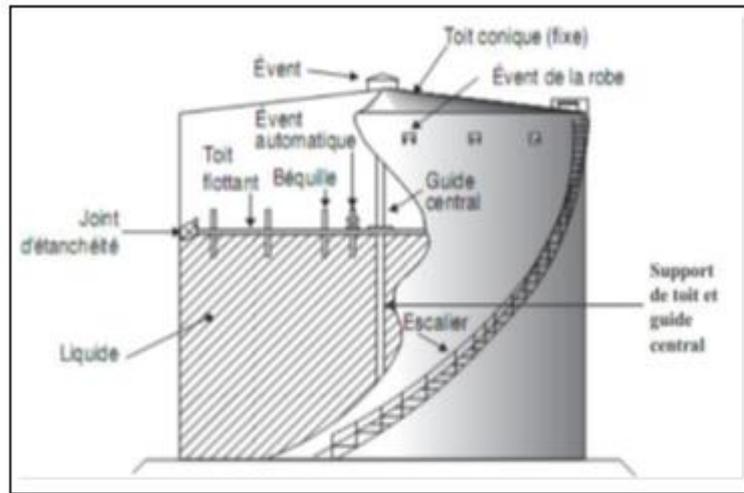


Figure I. 10: Réservoir à toit fixe à écran flottant.

I.1.4.3. Réservoirs à toit flottants

Les toits flottants couvrent et flottent sur la surface du liquide contenant dans le réservoir, cette catégorie de réservoirs est destinée à contenir des liquides volatils.

- Réservoirs à toit flottants simple pont

Les réservoirs à toit flottant comprennent une circulaire centrale, appelée « pont », directement posée sur le liquide stocké, et à l'aide des caissons d'air le toit aura la capacité de flottabilité.

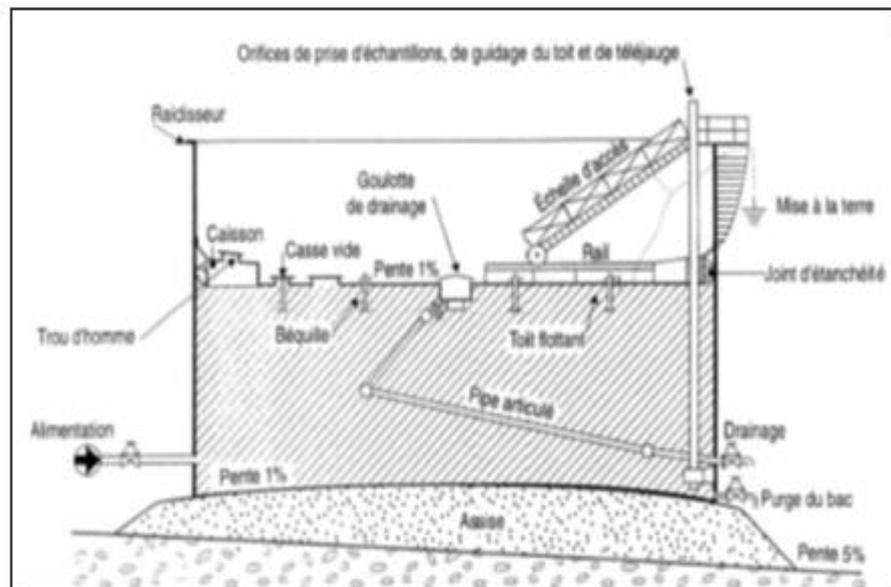


Figure I. 11: Réservoir toit flottant simple pont.

- **Réservoirs à toit flottant double pont**

Ils sont destinés pour le stockage d'une capacité volumique importante de produits qui risquent de perdre par évaporation. Ils se composent de deux ponts :

- **Pont inférieur** : il est souvent plat, mais parfois il peut être construit avec une légère conicité vers le haut.
- **Pont supérieur** : il se repose sur des chevrons en profilés, installés radialement entre les couronnes qui séparent les deux ponts. Il comporte une pente qui favorise le drainage des eaux vers le centre du toit.



Figure I. 12: Réservoir à toit flottant double pont.

I.2. Présentation du projet

I.2.1. Introduction

Le réservoir cylindrique à toit fixe c'est l'un des réservoirs atmosphériques où le stockage est à température ambiante et constitue presque la totalité de capacité.

Dans cette situation et en fonction de degré de volatilité, une pression de vapeur plus ou moins importante s'établit au-dessus du liquide.

Dans notre cas, le réservoir n'est pas à sous pression car, cette pression est inférieure à la pression atmosphérique.

I.2.2. Notre sujet

Etude globale d'un réservoir cylindrique à toit fixe avec dimensionnement d'un tronçon de tuyauterie.

I.2.3. Données de calcul

Type de réservoir.....	A toit fixe
Capacité nominale du réservoir	$C = 27000 \text{ m}^3$
Diamètre nominal du réservoir.....	$D = 45\text{m}$
(Cette valeur choisir pour avoir un minimum des chutes des tôles)	
Hauteur de la robe	$H = 18,44 \text{ m}$
Hauteur théorique du liquide.....	$H_t = 17\text{m}$
Produit de stockage.....	Gazoil
Densité maximale du produit.....	$G = 0,84$
Masse volumique de l'acier.....	$\rho = 7850\text{kg/m}^3$
Température.....	Ambiante
Pression.....	Atmosphérique
Vitesse maximale du vent.....	$V = 160\text{km/h}$
Surcharge de neige.....	$S = 8\text{dan/m}^2$
Zone d'implantation.....	Boumerdes (Ras Djinet)
Séisme.....	Oui

I.2.4. Codes et normes

- API 650 standard version 2013 ;
- A.S.T.M « American Society of Testing and Materials » : il définit par les essais de contrôle de qualité les caractéristiques mécaniques et chimiques des matériaux ainsi que leur domaines d'applications ;
- A.S.M.E « American Society of Mechanical Engineers » : il définit toutes les caractéristiques de construction des chaudières à vapeur et appareils chaudronnées sous pression ;
- RNV 1999 et 2003 « Règlement Neige et Vent »
- RPA 1999 et 2003 « Règles Parasismiques Algériennes »
- EUROCODE 3

I.3. Conclusion

Le domaine de la technologie de stockage est tellement vaste qu'on ne peut pas mentionner tous les types de réservoirs, donc on a bien évidemment cité les procédés les plus utilisés dans les parcs de stockages de notre pays.

Chapitre II

Etude Climatique (vent)

II. Etude Climatique

II.1. Introduction

Dans cette partie de notre projet on va présenter une étude globale des effets de vent et neige exercé sur le réservoir. On utilise pour cela le règlement NV65 (Neige et Vent 65).

II.2. Données de calcul

- Zone d'implantation : BOUMERDES (RAS DJINET) (zone I).
- Vitesse extrême de vent : 160 km/h = 44,44 m/s.
- Catégorie de construction : 6.
- Coefficient de masque : $K_m = 1$
- Capacité nominal du réservoir : 27000 m³
- Diamètre du réservoir : 45 m
- Hauteur de la robe : 18,44 m

II.3. Effet du vent

Pour le calcul des constructions, on suppose que la direction d'ensemble moyenne du vent est horizontale (NV65).

II.3.1. Pression dynamique

La pression dynamique q en daN/m² est donnée en fonction de la vitesse V du vent en m/s par la formule NV65 :

$$q = \frac{v^2}{16,3}$$

II.3.2. Pression dynamique normale et extrême : (Règlement NV65 page 36)

Le rapport entre la pression extrême et la pression normale est de 1,75.

$$\frac{q_{extreme}}{q_{normale}} = 1,75$$

II.3.3. Pression dynamique de base

Définition

Par convention ; les pressions dynamique de base normales et extrêmes sont celles qui s'exercent a une hauteur de 10 m au-dessus du sol, pour un site normale sans effet de masque sur un élément dont la plus grande dimension est égale à 50m ;

On a la valeur de la vitesse du vent extrême $V_{extreme} = 160 \text{ km/h} = 44,44 \text{ m/s}$

Donc :

$$q_{10(\text{extrême})} = \frac{(V_{extreme})^2}{16,3} = \frac{(44,44)^2}{16,3} = 121,16 \text{ daN/m}^2$$

$$q_{10(\text{normale})} = \frac{q_{10(\text{extrême})}}{1,75} = \frac{121,16}{1,75} = 69,23 \text{ daN/m}^2$$

II.3.4. Effet de la hauteur au-dessus du sol

Les valeurs de la pression dynamique de base sont valables à 10 m au-dessus du sol et à une hauteur H au-dessus du sol, la pression devient q_H , définie, pour H compris entre 0 et 500 m, par :

$$q_H = 2,5 \frac{H+18}{H+60} \cdot q_{10} \dots\dots (\text{Règlement NV 65 page 43})$$

H : la hauteur de réservoir ; H= 19,84 m

$$q_{H(\text{extrême})} = 2,5 \frac{19,84+18}{19,84+60} \cdot 121,16 = 143,56 \text{ daN/m}^2$$

$$q_{H(\text{normale})} = 2,5 \frac{19,84+18}{19,84+60} \cdot 69,23 = 82,03 \text{ daN/m}^2$$

II.3.5. Effet de site

La nature du site d'implantation en comparaison avec celui des relevés météo peut conduire à une diminution ou une augmentation de la vitesse du vent et donc des pressions correspondantes.

Les règles NV 65 considèrent trois types de site :

Site protégé : par exemple, fond de cuvette bordée de collines sur tout son pourtour ou site urbain dense ;

Site normal : par exemple, plaine de grande étendue avec des dénivellations peu importantes, de pente inférieure à 10 % ;

Site exposé : par exemple, littoral en général sur une profondeur de 6 km, sommet des falaises, îles ou presqu'îles étroites, Vallées étroites.

Site est un site exposé

Donc d'après de tableau 8 de le Règlement NV 65 page 45 L'Effet de site $K_S=1,35$

II.3.6. Effet de masque

Il y a effet de masque lorsque la construction envisagée est masquée et protégée par d'autres constructions de grande probabilité de durée. Pour notre cas pas d'effet de masque donc Effet de masque $K_m=1$

II.3.7. Effet de dimension

La vitesse du vent n'est pas uniforme dans l'espace. Les relevés météo sont faits sur des surfaces frappées par le vent dont la plus grande dimension ne dépasse pas 0,50 m. Si la surface frappée est beaucoup plus grande, la résultante moyenne des

efforts pourra donc être réduite en pondérant les pressions dynamiques de base par un coefficient de réduction $\delta \leq 1$.

- la grande dimension est le diamètre qui est égal à 45m - la hauteur H est égale à 19,48 m < 30m

A partir de la Figure R-III-2 du Règlement NV 65 page 48, le coefficient de réduction $\delta = 0,74$

II.3.8. Rapport de démentions (λ)

Le réservoir appartient à la catégorie (VI) : cylindres lisses à base circulaire, sans nervures possédant poli spéculaire et durable (NV65 page 91).

$$\lambda = \frac{H}{D} = \frac{19,84}{45} = 0,44$$

$$\lambda = 0,44 < 1 \quad \rightarrow \gamma = 1 \quad (\text{Règlement NV65 page 61})$$

II.3.9. Coefficient global de TRAINEE (C_t) Dépend de

- Rugosité de surface : $\nu = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Coefficient de viscosité)

- Nombre de REYNOLDS : $R_e = \frac{Vd}{\nu} = 4,17 \times 10^5$

$$R_e = \frac{Vd}{\nu} \rightarrow d = \frac{R_e \nu}{V} = \frac{4,17 \times 10^5 \times 14,4 \times 10^{-6}}{44,44}$$

$$d = 0,135 < 0,28$$

On a :

$$q_{10(\text{extrême})} = 121,16 \text{ daN/m}^2 \text{ (pression dynamique)}$$

Donc aparté de tableau 15 de le Règlement NV65 page 93

$$D = 0,135 < 0,28$$

$$d\sqrt{q_{10}} = 0,135 \times \sqrt{121,16} \rightarrow d\sqrt{q_{10}} = 1,485$$

On a un cylindre de catégorie 6 donc :

$$d < 0,28 \quad \text{et} \quad 0,5 < d\sqrt{q_{10}} < 1,5 \quad \rightarrow C_{t0} = 0,9 - 0,30 \times d\sqrt{q_{10}} \text{ (tableau 15 page 93)}$$

$$\text{Donc : } C_{t0} = 0,45$$

$$C_t = \gamma \cdot C_{t0} = 0,9 \times (0,45) = 0,405$$

II.3.10. Amplification dynamique

Dans la direction du vent, il existe une interaction dynamique entre les forces engendrées par les rafales de vent et la structure elle-même. La connaissance du mode fondamental d'oscillation de la structure dans la direction de vent étudiée est primordiale

pour la prise en compte de ce phénomène. Plus la structure sera flexible (grande période d'oscillation) et plus les amplifications des déformations, et donc des efforts dans la structure, seront importantes. Pour tenir compte de cet effet, il faut pondérer les pressions dynamiques de base par un coefficient « d'amplification dynamique » β .

$$\beta = \theta(1 + \varepsilon\tau)$$

Avec :

ε : Coefficient de réponse fonction de la période T du mode fondamental d'oscillation de la structure donné sur les diagrammes de la figure 13

τ : Coefficient de pulsation déterminé à chaque niveau de la structure en fonction de sa hauteur H au-dessus du sol et donné par l'échelle fonctionnelle de la figure 14 de NV65

θ : Coefficient global dépendant du type de construction dans notre cas égal à 1

II.3.11. Coefficient de réponse

$$T = 0,1 \frac{H}{\sqrt{D}} = 0,1 \frac{19,84}{\sqrt{45}} = 0,296$$

Donc aparté de le Règlement NV65 ε

$$\varepsilon = 0,3$$

II.3.12. Coefficient de pulsation

On a H=19,84 à partir du Règlement NV65 (Figure R-III-4)

$$\tau = 0,345$$

$$D' \text{ où } \beta = \theta (1+\tau) = 1 \times (1+0,3 \times 0,345) = 1,1035$$

II.3.13. Actions extérieures du vent (C_e)

Pour un cylindre de catégorie 6 les actions extérieures sont données sous la forme polaire pour $\gamma = 1$ (NV65)

Le coefficient de pression C_e est donné en fonction de γ et de l'angle d'inclinaison α du plan tangent à la surface courbe sur la direction du vent..

Dans notre cas $\gamma = 0,9$ donc il faut faire une extrapolation linéaire pour trouver les valeurs de C_e

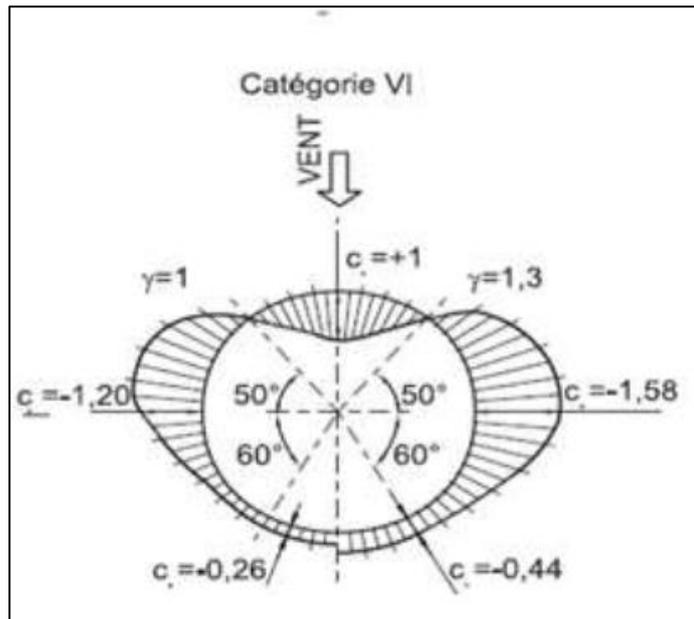


Figure II. 1: Forme polaire des actions extérieures pour $\gamma = 1$ et $\gamma = 1,3$.

1^{er}ement on fait une interpolation linéaire :

Pour $\alpha = 0$ on a

$$\gamma = 1 \quad C_e = -1,2 \quad -1,2 = 1 a + b$$

$$\gamma = 1,3 \quad C_e = -1,6 \quad -1,6 = 1,3 a + b$$

$$(1) - (2) \quad a = -1,3 \quad ; \quad b = 0,13 \quad \text{donc} \quad C_e = -1,3 \gamma + 0,13$$

$$\text{Pour } \gamma = 0,9 \quad ; \quad C_e = -1,3 (0,9) + 0,13 \quad C_e = -1,06$$

2^ément on fait une répétition pour $\alpha = (50, 90, -60, -90)$

Tableau II. 1: Valeurs d'actions extérieures.

A	γ	C_e
0	0,9	-1,06
50	0,9	0
90	0,9	1
-60	0,9	-0,26
-90	0,9	-0,2

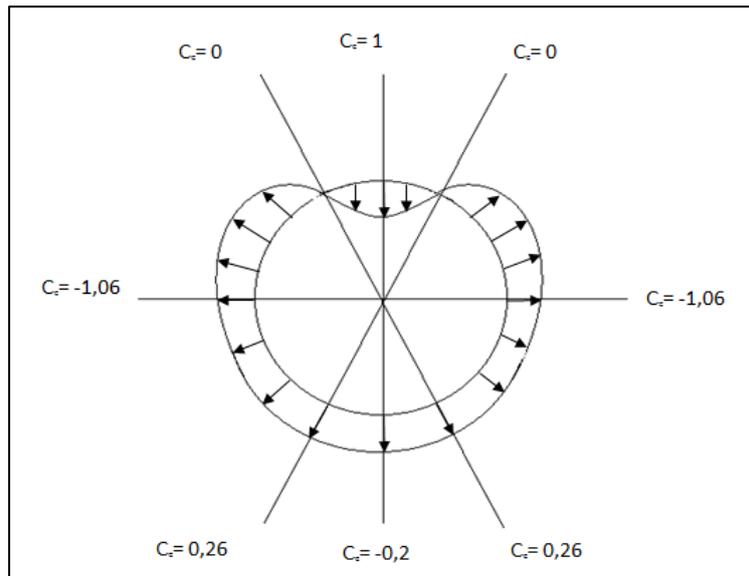


Figure II. 2 : Forme polaire d'actions extérieures.

II.3.14. Actions intérieures de vent C_i

On a deux cas :

Cas1 : **Réservoir plein :**

Construction fermée les parois ont une perméabilité : $\mu \leq 5 \%$.

Surpression :

$$C_i = 0,6(1,10 - C_e).$$

$$C_i = - 0,6(1,10-0,405)$$

$$C_i = 0,4017$$

Dépression :

$$C_i = - 0,6(1,10-C_e)$$

$$C_i = - 0,6(1,10-0,405)$$

$$C_i = -0,4017$$

Avec C_e : coefficient global de trainée

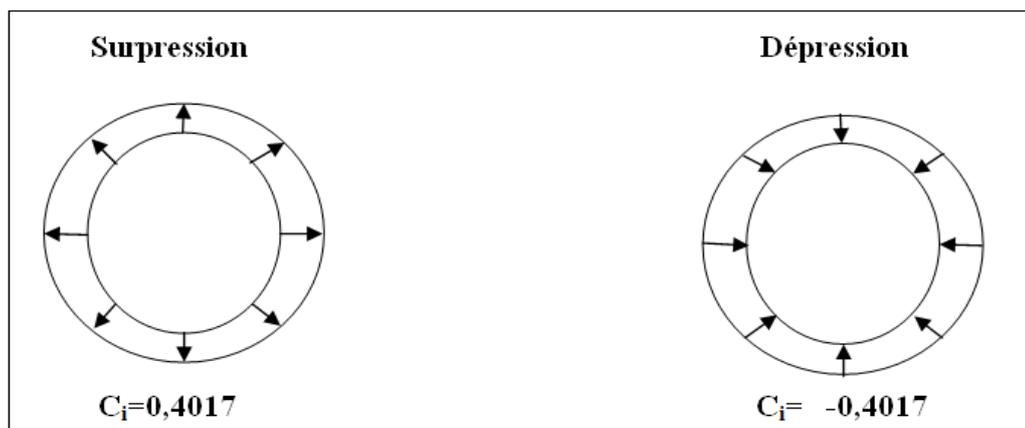


Figure II. 3: Action intérieures au vent (réservoir plein).

Pour les constructions ouvertes à leurs parties supérieures, on applique une dépression uniforme égale à : $-0,3 q$
 Selon NV65 page 157, on a une dépression uniforme.

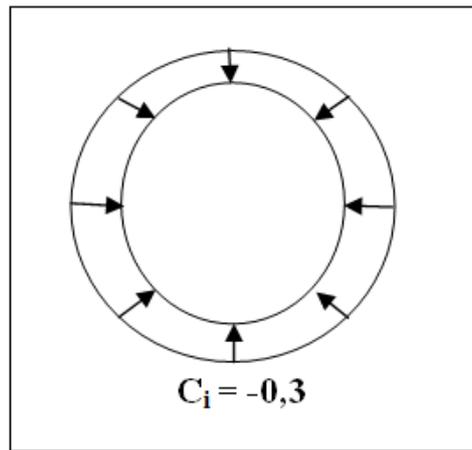
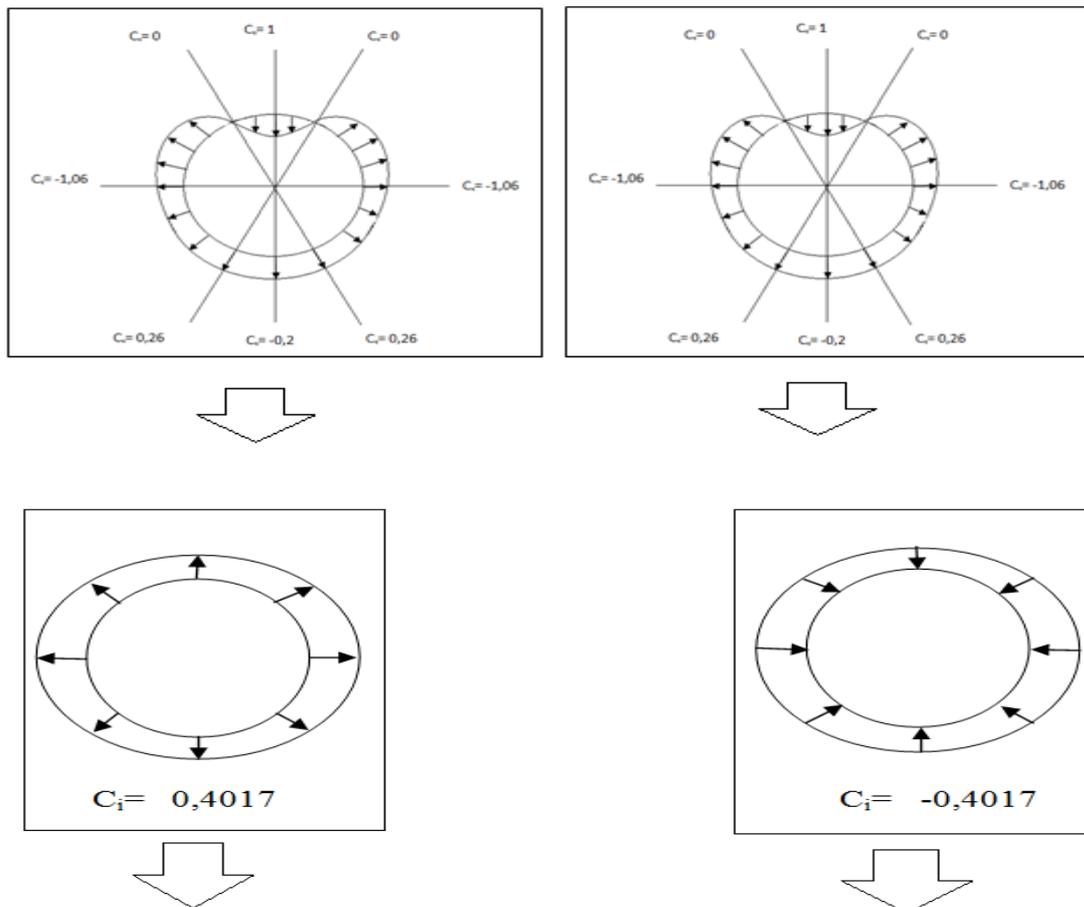


Figure II. 4: Action intérieures au vent (réservoir vide).

II.3.15. Actions résultantes (c_e-c_i)

1^{er} cas : Réservoir plein



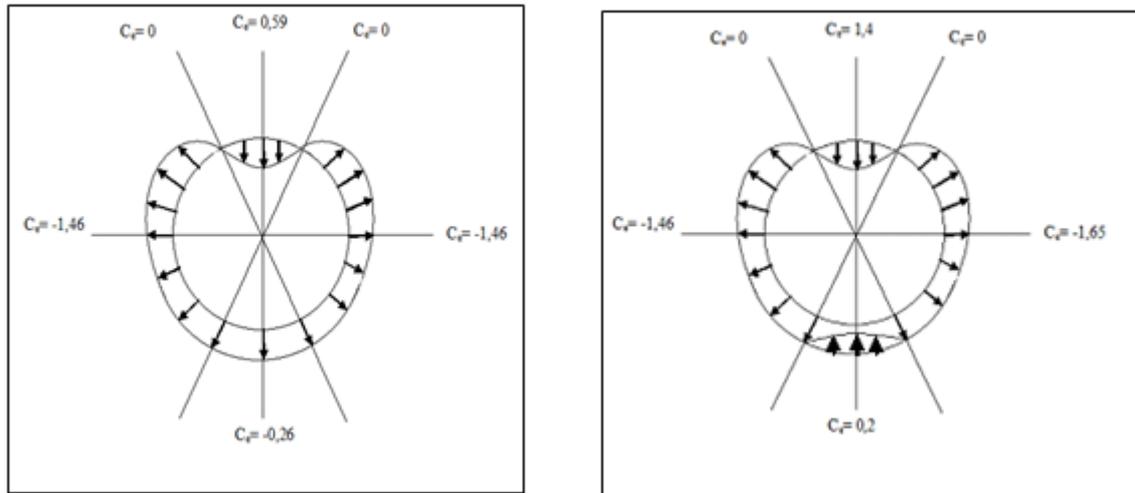


Figure II. 5: Actions résultantes unitaires.

Cas 2 : Réservoir vide

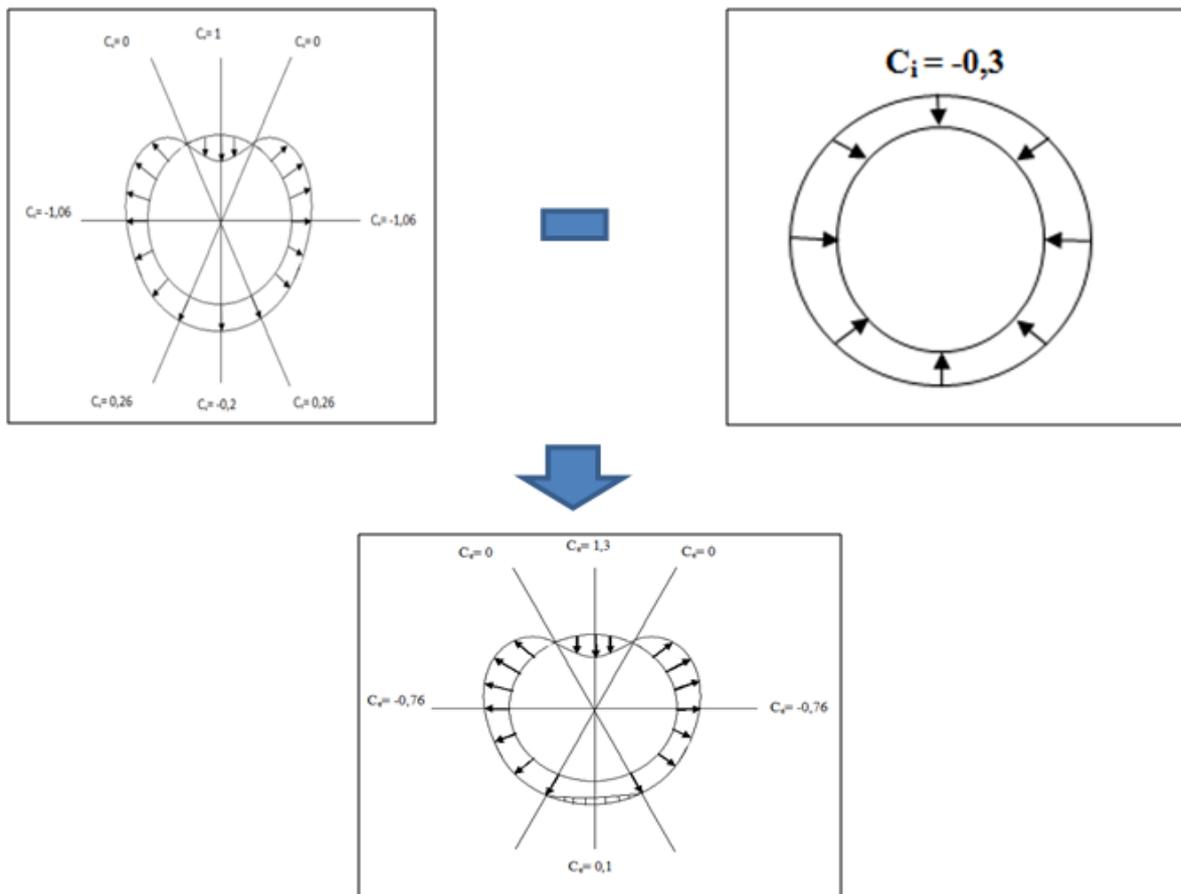


Figure II. 6 : Actions résultantes unitaires (réservoir vide).

Le cas le plus défavorable, lorsque le réservoir est vide ou moitié remplis le toit joue un rôle de raidisseur. De ce fait les contraintes de compression sont moins importantes.

$$C_{\max} = 1,46$$

II.3.16. Charge de vent

$$Q = q_h \cdot k_s \cdot k_m \cdot C_{\max} \cdot \delta \cdot \beta$$

- ❖ $K_S = 1,35$ (coefficient de site)
- ❖ $K_m = 1$ (coefficient de masque)
- ❖ $\beta = 1,1035$ (coefficient de majoration)
- ❖ $\delta = 0,74$ (coefficient de réduction des pressions dynamique)
- ❖ $C_{\max} = 1,46$ (coefficient de résultant)
- ❖ $q_h = 143,56 \text{ daN/m}^2$ (la pression dynamique agissant a hauteur H)

$$Q = 143,56 \times 1,35 \times 1 \times 1,46 \times 0,74 \times 1,1035$$

$$Q = 231,06 \text{ daN/m}^2$$

II.4. Étude de neige

Donnée de calcul :

- Zone de neige : Zone B ;
- Altitude : 0 m.

II.4.1. Charge de neige sur la toiture

La charge caractéristique de neige S soumise à l'accumulation de la neige, s'obtient selon RNV99 (page 13 article 3.1.1) par la formule suivante :

$$S = \mu \times Sk$$

Avec :

Sk : La charge de neige sur le sol en fonction de l'altitude (KN/m²) ;

μ : Le coefficient d'ajustement des charges en fonction de la forme de la toiture.

La charge de la neige sur le sol :

$$Sk = (0,04 \times H_{\text{altitude}} + 10) / 100$$

Avec :

H_{altitude} : L'altitude par rapport au niveau de la mère.

$$\Rightarrow Sk = (0,04 \times H_{\text{altitude}} + 10) / 100 = (0,04 \times 0 + 10) / 100 = 0,1 \text{ daN/m}^2$$

II.4.2. Calcul du coefficient d'ajustement des charges

Le coefficient d'ajustement se calcule en fonction de la pente de la toiture. On a une légère pente de 6,25% ce qui implique un angle $\alpha = 3,5^\circ$ donc $\mu = 0,8$ selon RNV99 (page 19 tableau 6.3).

$$\Rightarrow S = \mu \times Sk = 0,8 \times 0,1 = 0,08 \text{ KN/m}^2$$

II.5. Conclusion

L'étude climatique permet de déterminer les actions climatiques les plus défavorables du vent (intérieurs extérieurs et résultantes) agissant sur les parois du réservoir.

Chapitre III

Calcul de fond et la robe

III. Calcul du fond et de la robe

III.1. Introduction

Afin de faire la construction d'un bon produit qui possède un bon rapport de qualité, une satisfaction à l'utilisateur, et qui fonctionne bien, il va falloir de prendre en compte l'étude de dimensionnement, afin de minimiser les chutes dans les normes d'une bonne production, ce qui diminue le coût du produit.

Ce chapitre de dimensionnement est pour l'étude de :

- Fond circulaire concave.
- Robe cylindrique verticale.

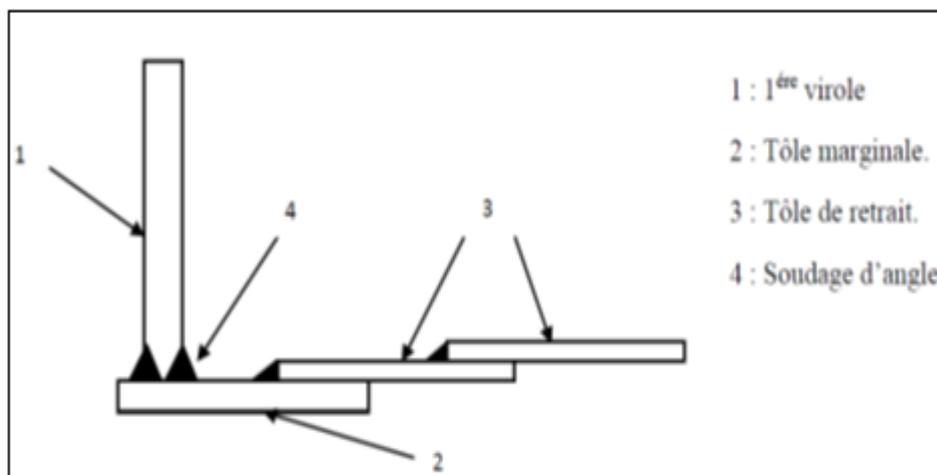


Figure III. 1: Conception de montage du fond avec la robe.

III.2. Critères de choix des matériaux

Les principaux critères de choix d'un matériau :

- La capacité de matériau de subir sans détérioration notable, la sollicitation de service.
- La fiabilité de mise en œuvre.
- La disponibilité sur le marché.
- Tenir en compte le facteur de coût.
- La durée de vie de l'appareil (déducteurs, thermomètres).
- Aciers utilisés :
 - La robe et les tôles centrales du fond : A573M-gr70.
 - Les tôles marginales : A573M-gr70.
- Surépaisseur de corrosion :
 - Fond : 03 mm.
 - Tôles annulaire et la 1^{er} virole de la robe : 03 mm.
 - Le reste des viroles : 03 mm.
 - Toit : 02 mm.

- **Soudabilité des aciers**

Les aciers sensibles à la trempe lorsqu'ils sont soumis à un procédé de soudage ou un coupage par l'oxycoupage, nécessitent un préchauffage, afin d'éliminer le risque d'avoir des fissurations à chaud ou à froid.

Avec :

- CE : Pourcentage de carbone équivalent ;
- $CE < 0,3$ bonne soudabilité ;
- $0,4 < CE < 0,6$ l'acier nécessite un préchauffage ;
- $CE > 0,6$ problème très particulier.

- **Soudabilité de l'acier: Acier A573M-gr70**

Tableau III. 1: Caractéristiques mécaniques.

Matériau	Resistance à la rupture (Mpa)	Résistance à la traction élastique minimale (Mpa)
Acier A573-gr70	290	485

Tableau III. 2: Composition chimique.

Matériau	Cmax %	Mnmax %	Sima %	Pmax %	Smax %
Acier A573-gr70	0.24	0.8	0.5	0.035	0.053

Mais avant d'entamer le soudage il faut la vérification d'aptitude de soudabilité on utilisant la formule suivante :

$$CE = C\% + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}$$

$$CE = C\% + \frac{Mn}{20} = 0.24 + \frac{0.8}{20} = 0.28 < 0.3$$

On trouve que $CE < 0,3$, donc : le matériau a une bonne soudabilité et ne nécessite pas de préchauffage.

- **Soudabilité de l'acier: Acier A283 Gr C**

Tableau III. 3: Composition chimique de l'acier A283 Gr C.

NUANCE	C%	Si%	P%	S%	Mn%
A 283 Gr C	0,21	0,5	0,055	0,055	0,9

• **La vérification de soudabilité de matériau A283 Gr C**

$$CE = C\% + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}$$

- CE : Pourcentage de carbone équivalent ;
- $CE < 0,3$ bonne soudabilité ;
- $0,4 < CE < 0,6$ l'acier nécessite un préchauffage ;
- $CE > 0,6$ problème très particulier.

$$CE = C\% + \frac{Mn}{20} = 0.21 + \frac{0.9}{20} = 0.25 < 0.3$$

On trouve que $CE < 0,3$, donc : le matériau a une bonne soudabilité et ne nécessite pas de préchauffage.

III.3. Conception du fond

Le fond du bac est construit en plaques de tôle en acier de forme rectangulaire se recouvrant aux extrémités où elles sont soudées entre elles. Certains fonds de bacs sont protégés par une peinture bitumineuse interne.

Il assure le transfert aux fondations les charges verticales engendrées par le liquide stocké. La partie centrale du fond n'est pas soumise à des contraintes mécaniques de tension, par contre les bordures périphériques sont sollicitées par la pression hydrostatique horizontale agissant au bas de la robe

Le fond du bac doit être conçu pour permettre une vidange aussi complète que possible, ainsi que les purges d'eau et de dépôts. Pour cela on lui donne une pente d'environ 1 à 2 % qui est dirigée soit vers le centre (fond concave) soit vers la périphérie (fond convexe).
(On a un réservoir de grand dimension donc en prendre un fond convexe)

Les bacs de petits diamètres (inférieur à 10 m) possèdent un fond concave. Les bacs de grands diamètres sont munis de fond convexe afin de faciliter les opérations de nettoyage ou d'extraction de dépôts au voisinage des trous d'homme. Le fond repose souvent sur une galette de gravier ou de sable revêtue d'un enrobé bitumineux permettant une étanchéité et une adaptation au contact de l'assemblage des tôles de fond.

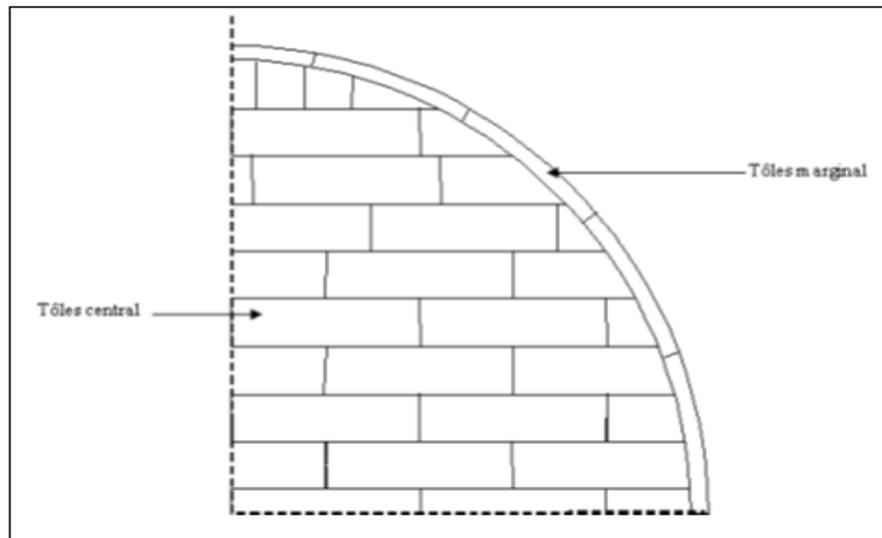


Figure III. 2: Partie du fond du bac.

III.3.1. Tôle centrale du fond

D'après l'API 650 (5.4.1) l'épaisseur minimale nominale de toutes les tôles centrale du fond est **6 mm**.

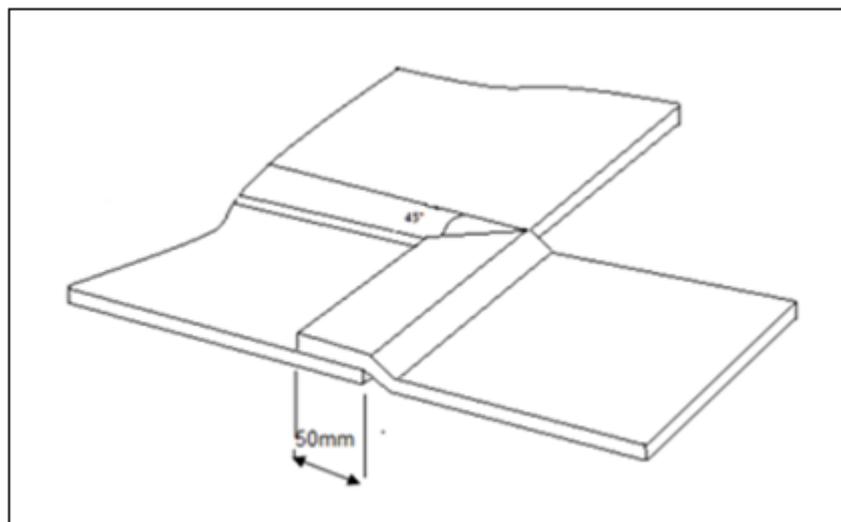


Figure III. 3: Recouvrement des tôles centrales de fond.

Épaisseur nominale = 6 mm ;

Surépaisseur de corrosion = 3 mm ;

$$Tb = t(\text{min}) + CA = 6 + 3 = 9 \text{ mm.}$$

On adopte : $Tb = 9 \text{ mm}$ avec un recouvrement égale 50 mm

- **Calcul de nombre de tôles centrales**

- Format des tôles utilisés (9420 x 2420 x 9) mm

$$N_{\text{tôles}} = \frac{S_{\text{fond}}}{S_{\text{tôle}}}$$

$$S_{\text{tôle}} = (9.42 - L_r) \times (2.42 - L_r) = (9.42 - 0.05) \times (2.42 - 0.05) = 22,2069 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{marginale}} = \pi \times D \times 0,8 = 113,04 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{fond}} = \pi \times R^2 - S_{\text{marginale}} = (\pi \times 22,5^2) - 113,04 = 1476,585 \text{ m}^2$$

Avec :

$N_{\text{tôles } F}$: nombre de tôles ;

S_{fond} : la surface du fond ;

$S_{\text{tôle}}$: la surface de tôle utilisée ;

$S_{\text{marginale}}$: la surface à l'intérieur du bac occupée par les tôles annulaire ;

L_r : largeur de recouvrement des tôles de fond.

$$N_{\text{tôles } F} = \frac{S_{\text{fond}}}{S_{\text{tôle}}} = \frac{1476,585}{22,2069} = 66,50 \text{ tôles}$$

Donc on prend $N_{\text{tôles } F} = 67$ tôles.

- **Le poids des tôles centrales :**

$$P = \rho \cdot S_{\text{tôle}} \cdot e \cdot N_{\text{tôles}} \rightarrow 7850 \times 22,7964 \times 0,009 \times 67 = 107.90 \text{ t}$$

P = Poids des tôles centrales

ρ = Masse volumique de l'acier

$S_{\text{tôle}}$ = Surface de tôles

e = épaisseur de tôles

$N_{\text{tôle}}$ = nombre de tôles

III.3.2. Tôles marginales de fond

Les tôles annulaires du fond auront une largeur radiale minimale de **600** millimètres de l'intérieur de la 1^{er} virole vers le centre du fond. Une plus grande largeur radiale des tôles annulaires est exigée d'après l'API 650 (article 5.5.2) et calculée comme suit :

Avec :

b : la largeur de tôle annulaire ;

H : la hauteur de réservoir ;

T_b : l'épaisseur des tôles annulaire ;

G : la densité du liquide.

$$b = \frac{215 T_b}{(H \times G)^{0,5}}$$

- **Calcul d'épaisseur des tôles annulaires :**

L'épaisseur de tôles marginales est égale à l'épaisseur minimale selon la norme API 650, tableau 5.1 a

$$T_b = T_{\min} + CA$$

La contrainte S_b sur la première virole de la robe est la valeur la plus grande entre les deux valeurs suivantes :

- Contrainte pour produit = $(T_d - CA / T$ (épaisseur adoptée)) (S_d)

- Contrainte pour test hydrostatique = $(T_t / T$ (épaisseur adoptée)) (S_t)

$$S_t = 208 \text{ MPa}, S_d = 193 \text{ MPa}, T_d = 20,4 \text{ mm}, T_t = 19,23 \text{ mm}$$

L'épaisseur adoptée de la première virole (V1) : $T = 21 \text{ mm}$

Epaisseur de corrosion CA de la première virole : 3 mm

Donc :

$$S_b = 200 \text{ MPa}$$

$$S_b = 200 \text{ MPa} \leq 210 \text{ MPa}$$

Donc l'épaisseur minimale de la tôle marginale du fond de bac (sans prendre en considération l'épaisseur de corrosion) :

$$T_{br} = 7 \text{ mm}$$

$$CA \text{ (pour le fond)} = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Alors on a : } T_b = T_{br} + CA = 10 \text{ mm}$$

Alors :

$$b = \frac{215 t_b}{(H \times G)^{0,5}} = \frac{215 \times 10}{(18,44 \times 0,84)^{0,5}} = 546,28 \text{ mm}$$

Ce qui implique l'adoption de la largeur $b = 600 \text{ mm}$ de l'intérieur de la virole inférieure vers le centre du fond, et 100 mm de plus par mesure de sécurité.

Les recouvrements des tôles de fond devront avoir une largeur de 50 mm à l'extérieur de la robe selon l'API 650 (5.4.2), plus l'épaisseur de la 1^{ère} virole = 21 mm

Donc : $b = 800 \text{ mm}$.

Avec :

b : la largeur des tôles annulaire.

Calcul du nombre de tôles annulaires :

Pour les tôles marginales :

- Format des tôles utilisés : (9420 x 2420 x 10) mm
- Le périmètre de réservoir : $P = 141300 \text{ mm} = 141,3 \text{ m}$

$$N_{\text{tôles } M} = \frac{P_{\text{fond}}}{2L_{\text{tôle } M}} = \frac{\pi D}{9.42 \times 2} = \frac{141,3}{9.42 \times 2} = 7,5 \text{ tôles}$$

Donc on prend : $N_{\text{tôles } M} = 8 \text{ tôles}$.

Avec :

P_{fond} : Le périmètre de fond (m) ;

$L_{\text{tôle } M}$: La longueur de la tôle marginale (m).



Figure III. 4: Tôles marginales.

- **Le poids des tôles marginales :**

$$P_{\text{marginales}} = \rho \cdot S_{\text{marginales}} \cdot e \rightarrow 7850 \times 113,04 \times 0,01 = 8,873 \text{ tonnes} = 8,9 \text{ tonnes}$$

- **Le poids total du fond**

$$P_{\text{total du fond}} = P_{\text{toles marginales}} + P_{\text{toles centrales}} \rightarrow 107,10 + 8,873 = 115,98 \text{ tonnes} = 116 \text{ tonnes}$$

III.3.3. Conception de la robe

Elle doit résister aux contraintes développées par la pression hydrostatique du liquide stocké et est constituée de rangés de tôles rectangulaires de longueur (L) superposées appelées viroles, qui sont soudées bout à bout. Les joints verticaux de ces tôles sont généralement décalés, à chaque changement de viroles du tiers de leurs longueurs. L'épaisseur minimale de chaque virole est calculée à partir de formules simples définies par API 650 paragraphe 5.6.3.2, sa valeur dépend des dimensions de la cuve, de la masse volumique du produit stocké, des caractéristiques mécaniques des aciers employés, des coefficients de sécurité imposés par le code, de la température d'étude et de la surépaisseur de corrosion retenue.



Figure III. 5: Robe.

III.3.3.1. Calcul du nombre de viroles

On a: (9420 × 2450)

$$N_v = \frac{H_r}{l}$$

Avec :

N_v : le nombre de viroles ;

H_r : la hauteur de réservoir ;

l : la largeur de la tôle obtenue.

$$N_v = \frac{18,44}{2,45} = 7,51$$

D'où : N viroles = **8 viroles**.(Valeur vérifiée)

III.3.3.2. Calcul de nombre de tôles pour chaque virole

$$N_t = \frac{P}{L}$$

$$P = \pi D$$

Avec :

$N_{t/v}$: le nombre des tôles pour chaque virole ;

L : la longueur de la tôle obtenue ;

P : le périmètre du réservoir ;

D : le diamètre du réservoir.

$$N_{t/v} = \frac{\pi D}{L} = \frac{\pi \times 45}{9,42} = 15$$

Donc on prendra $N_{t/v} = 15$ tôles pour chaque virole.

Ce qui implique le nombre de tôles N :

$$N = 15 \times 8 = 120 \text{ tôles}$$

III.3.3.3. Calcul des épaisseurs des viroles

Le calcul des épaisseurs des viroles de la robe s'établit à l'aide de la formule suivante d'après l'API 650, on choisit la plus grande valeur entre l'épaisseur théorique et hydrostatique.

- Formule établie par un calcul théorique approché d'après l'API 650 (5.6.3.2):

$$t_d = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3) \times G}{S_d} + C_A$$

- Formule établie par les essais hydrostatiques d'après l'API 650 (5.6.3.2):

$$t_t = \frac{4,9 \times D \times (H - 0,3)}{S_t}$$

Avec :

H : hauteur, en m. Entre la partie inférieure de la virole considérée et la partie supérieure de la cornière de rive ;

D : diamètre nominal du réservoir, en m ;

$G = 0,84$: densité du liquide (Gazoil) ;

Acier: A573M-gr70 ;

- $S_d = 193$ Mpa. Contrainte admissible théorique.
- $S_t = 208$ Mpa. Contrainte admissible hydrostatique.

CA : surépaisseur de corrosion, en mm.

1^{er} virole :

$$t_{d1} = \frac{4,9 \times 45 \times (18,44 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 20,40\text{mm}$$

$$t_{t1} = \frac{4,9 \times 45 \times (18,44 - 0,3)}{208} = 19,23\text{mm}$$

2^{ème} virole :

$$t_{d2} = \frac{4,9 \times 45 \times (15,99 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 18,05\text{mm}$$

$$t_{dt2} = \frac{4,9 \times 45 \times (15,99 - 0,3)}{208} = 16,63\text{mm}$$

3^{ème} virole :

$$t_{d3} = \frac{4,9 \times 45 \times (13,54 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 15,7\text{ mm}$$

$$t_{t3} = \frac{4,9 \times 45 \times (13,54 - 0,3)}{1208} = 14,03\text{mm}$$

4^{ème} virole :

$$t_{d4} = \frac{4,9 \times 45 \times (11,09 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 13,35\text{ mm}$$

$$t_{t4} = \frac{4,9 \times 45 \times (11,09 - 0,3)}{208} = 11,43\text{ mm}$$

5^{ème} virole :

$$t_{d5} = \frac{4,9 \times 45 \times (8,64 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 11\text{ mm}$$

$$t_{t5} = \frac{4,9 \times 45 \times (8,64 - 0,3)}{208} = 8,84\text{mm}$$

6^{ème} virole :

$$t_{d6} = \frac{4,9 \times 45 \times (6,19 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 8,65\text{mm}$$

$$t_{t6} = \frac{4,9 \times 45 \times (6,19 - 0,3)}{208} = 6,24\text{mm}$$

7^{ème} virole :

$$t_{d7} = \frac{4,9 \times 45 \times (3,74 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 6,30\text{ mm}$$

$$t_{t7} = \frac{4,9 \times 45 \times (3,74 - 0,3)}{208} = 3,64 \text{ mm}$$

8^{ème} virole :

$$t_{d7} = \frac{4,9 \times 45 \times (1,29 - 0,3) \times 0,84}{193} + 3 = 3,95 \text{ mm}$$

$$t_{t7} = \frac{4,9 \times 45 \times (1,29 - 0,3)}{208} = 1,04 \text{ mm}$$

Remarque

D'après l'API 650 5.6.1.1 les réservoirs de diamètre compris entre :

36 mm ≤ ϕ ≤ **60 mm** doivent avoir une épaisseur de tôle minimale supérieure ou égale à **8 mm**. C à d : $e_{\min} \geq 8 \text{ mm}$

Tableau III. 4: Récapitulatif des épaisseurs des tôles de la robe.

N° de viroles	La hauteur H (m)	L'épaisseur par calcul théorique « t_d » (mm)	L'épaisseur par calcul hydrostatique « t_t » (mm)	L'épaisseur adoptée « t » (mm)	Matière
V1	18,44	20,40	19,23	21	A 573 gr 70
V2	15,99	18,05	16,63	19	A 573 gr 70
V3	13,54	15,7	14,03	16	A 573 gr 70
V4	11,09	13,35	11,43	14	A 573 gr 70
V5	8,64	11	8,84	11	A 573 gr 70
V6	6,19	8,65	6,24	10	A 573 gr 70
V7	3,74	6,30	3,64	9	A 573 gr 70
V8	1,29	3,95	1,04	8	A 573 gr 70

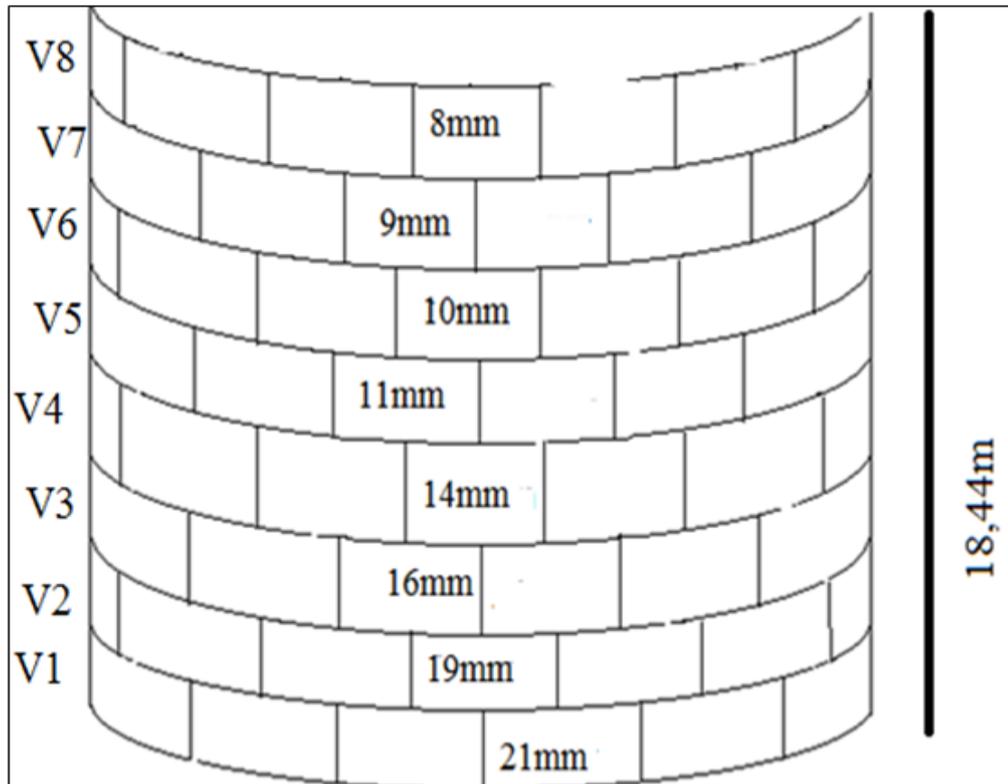


Figure III. 6: Disposition des viroles de la robe.

III.3.3.4. Calcul du poids total de la robe

- N tôles /virole = 15 tôles
- Format des tôles utilisées (9420×2450×e)
- Nombre de viroles = 8
- Masse volumique de acier = 7850kg/m³
- **P** : périmètre du réservoir =141.3m

$$Mv = \rho \times S_{\text{tôle}} \times e \times N_{\text{tôle}}$$

Avec :

Mv : La masse de la virole (Kg) ;

ρ_{acier} : La densité de l'acier utilisé (Kg/m³) ;

S_{tôle} : La surface de la tôle (m²) ;

N_{tôle} : Le nombre de tôles par virole ;

e_v : L'épaisseur de la virole (m).

Tableau III. 5: Poids des viroles de la robe .

Numéro de virole	Epaisseur de la virole (<i>m</i>)	Masse de la virole (<i>Kg</i>)
V1	0,021	57068,6
V2	0,019	51633,5
V3	0,016	43480,9
V4	0,014	38045,7
V5	0,011	29893,1
V6	0,01	27175,5
V7	0,009	24458,0
V8	0,008	21740,4

III.3.3.5. Masse totale de la robe

$$M_{\text{totaleR}} = \sum M_v = 293495Kg = 293,5 \text{ tonnes}$$

III.3.3.6. Cornière de rive

Constitution

La robe du réservoir sera pourvue d'une cornière de rive en acier.

La cornière de rive, de taille normalisée, sera placée à la partie supérieure de la robe.

La cornière de rive joue deux fonctions :

- Rigidité de la robe.
- Jonction entre le toit et la robe.

a. Préparation

La cornière sera découpée aux dimensions spécifiées sur les plans d'exécution et cintrées selon le diamètre extérieure de la virole supérieure de la robe.

Les travaux de préparation seront exécutés en atelier.

b. Assemblage

L'assemblage de la cornière de rive avec la robe sera exécuté par double soudage à recouvrement avec des joints de soudure d'angle droit.

L'assemblage des tronçons de la cornière de rive sera exécuté par un soudage bout à bout

- **Recommandation**

L'aile en saillie de la cornière de rive sera orientée vers l'extérieur de la robe.

La robe de réservoir sera munie d'une cornière de rive, conformément aux exigences de la Norme API.650.Std, de taille L : 100 x 100 x 10 voir schéma.

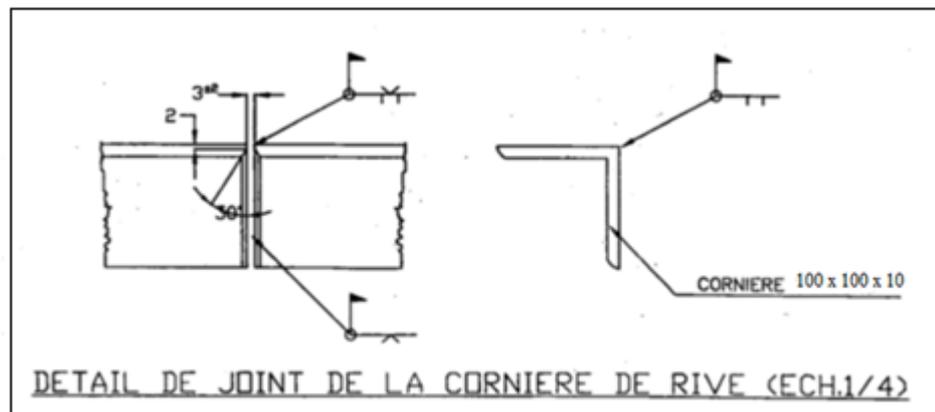


Figure III. 7: Cornière de rive.

III.4. Conclusion

Le fond et la robe sont les parties du réservoir les plus sollicitées aux charges engendrées par le produit stocké et aux effets extérieurs. Ils doivent par conséquent être soigneusement conçus.

Chapitre IV

Calcul du toit

IV. Calcul du toit

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, notre travail consiste à choisir les éléments structuraux et les vérifier afin d'assurer la stabilité et la résistance de l'ouvrage aux différentes sollicitations auxquelles il est soumis en utilisant les valeurs des charges pondérées (ELU). La vérification relative à la flèche sera effectuée sous charges non pondérées (ELS). Les éléments que nous avons étudiés dans ce chapitre sont : les entretoises, les chevrons et les poteaux. Le règlement utilisé c'est l'EUROCODE3.

Pour assurer la stabilité du toit, il est nécessaire de vérifier tous les éléments qui composent la charpente.

IV.2. Réservoir à toit fixe supporté

Le réservoir à toit fixe supporté le toit conique assez plat avec une pente recommandée de 1/20 ou 1/12 (5%, 9%) notamment pour que le toit soit calorifugé. Ces toits sont constitués d'une charpente supportée par un ou plusieurs poteaux en tubes ou en profilés, qui s'appuient sur le fond de l'ouvrage.

Les tôles d'un toit reposent sur des chevrons rayonnants qui prennent appui au centre de réservoir sur le poteau central, en périphérie sur la robe, et pour les réservoirs de diamètre supérieur à 25m, sur des poteaux intermédiaires ; ces derniers sont disposée sur des cercles concentriques et sont reliés en tête par des pannes droites sur lesquelles viennent se poser des chevrons.

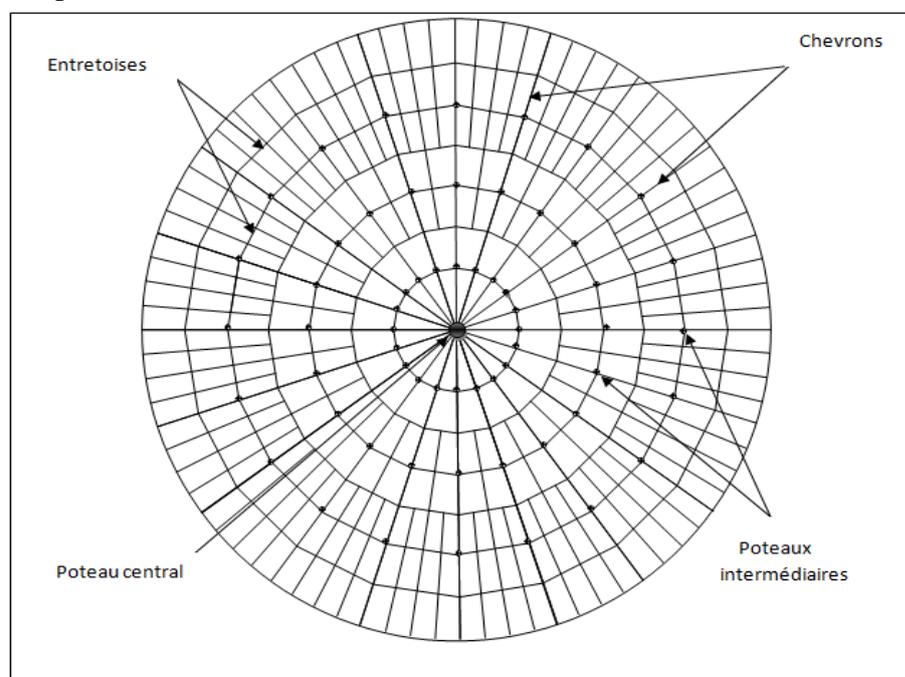


Figure IV. 1: Vue du toit fixe.

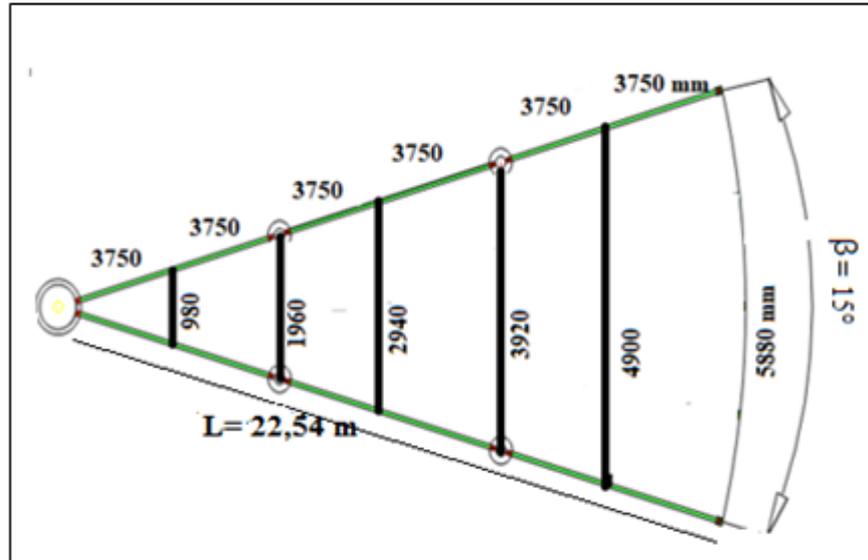


Figure IV. 2: Schéma statique de la charpente du toit fixe.

IV.3. Données du toit du réservoir

Nuance d'acier	Acier A283 gr C
Type de toit	Toit fixe
Diamètre nominal	45000 mm
Surépaisseur de corrosion	Ca = 02 mm
La pente du pont	Ps = 1/16%
Hauteur du toit	1400 mm

D'après l'API 650 (5.10.2.2) les épaisseurs des tôles du toit ne devront pas être inférieures à 5mm (3/16 in).

$$t_{min} + Ca = 5 + 2 = 7 \text{ mm}$$

On prendra les épaisseurs des tôles du toit $t = 8 \text{ mm}$.

IV.4. Nombre et poids des tôles

Format des tôles utilisées (9420 x 2420 x 7) mm

$$S \text{ cône} = \pi \times R \times \sqrt{R^2 + h^2}$$

$$= 3,14 \times 22,5 \times \sqrt{22,5^2 + 1,4^2} = 1592,69 \text{ m}^2$$

$$S \text{ tôles} = 9,42 \times 2,42 = 22,7964 \text{ m}^2$$

$$N \text{ tôles} = \frac{S_{\text{cône}}}{S_{\text{tôle}}}$$

$$N \text{ tôles} = \frac{1592,69}{22,7964} = 69,86 \approx 70$$

On prendra $N \text{ tôles} = 70 \text{ tôles}$

Le poids des tôles de toit :

$$P = \rho \times S_{\text{tôles}} \times e \times N_{\text{tôles}}$$

$$P = 7850 \times 22,7964 \times 0,007 \times 70 = 87686,35 \text{ kg}$$

IV.5. Dimensionnement des entretoises

IV.5.1. Vérification de la résistance des entretoises

Après une succession des calculs, nous avons déduit qu'un profilé IPE 240 convient comme entretoise.

Les caractéristiques de l'**IPE 240**

$$h: 240 \text{ mm}$$

$$I_y: 3891,6 \text{ cm}^4$$

$$r = 15 \text{ mm}$$

$$b: 120 \text{ mm}$$

$$W_{ply} = 366,6 \text{ cm}^3$$

$$P = 30,7 \text{ kg/m}$$

$$t_w = 6,2 \text{ mm}$$

$$I_z = 283,58 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 12,88 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 9,8 \text{ mm}$$

$$W_{plz} = 73,9 \text{ cm}^3$$

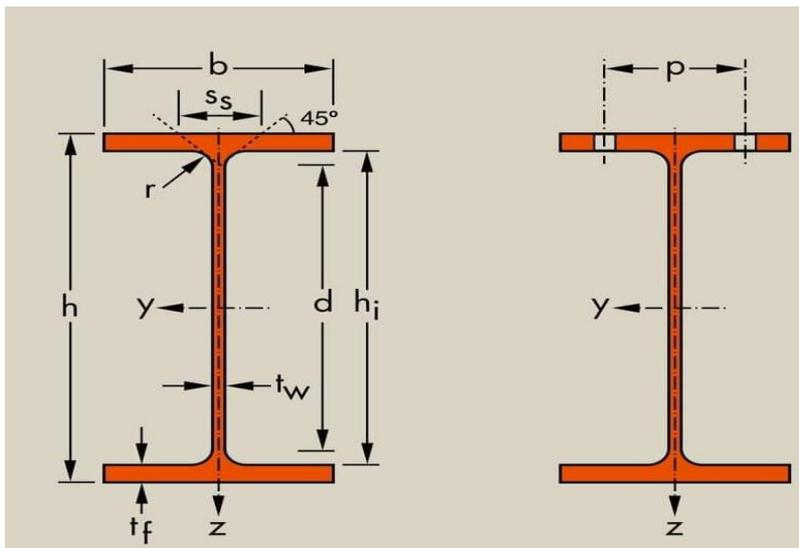


Figure IV. 3: Profilé IPE 240.

a) Modélisation et chargement de l'entretoise

- **Résolution du système**

Comme indiqué sur la figure IV.3, l'entretoise est chargée par trois types de charge : une charge répartie q (charges de : vent, neige, poids propre de toit) et deux charges concentrées (deux ouvriers + caisse à outils). Pour résoudre ce problème on utilise la méthode de superposition.

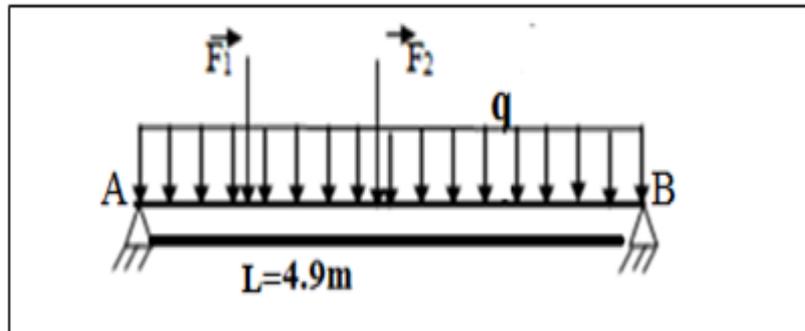


Figure IV. 4: Modélisation du chargement d'une entretoise.

- **Classe de section:**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{275}{f_y}} = 0,93$$

L'âme :

$$\frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2t_f-2r}{t_w} = \frac{240-2(9.8+15)}{6.2} = 30.70 \leq 72\varepsilon$$

Les semelles :

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b-t_w-2r}{2t_f} = \frac{120-6.2-2 \times 15}{2 \times 9.8} = 4.27 \leq 9\varepsilon \quad \text{Donc la section de classe I}$$

IV.5.2. Résolution du 1^{er} système

IV.5.2.1. Charges permanentes G

- Poids propre de la toiture : $G_{\text{toiture}} = \rho \cdot e = 7850 \times 0.007 = 54,95 \text{ daN /m}^2$
- Poids propre du profilé IPE 240 : $G_{\text{profilé}} = 30.7 \text{ daN /m}$

$$G_{\text{permanentes}} = 30.7 + 54,95 \times 3.75 = 236,76 \text{ daN/m}$$

$$G_p = 276,36 \text{ daN /m}$$

IV.5.2.2. Charges variables q**Charge de vent**

$$V = 231,06 \times 3,75 = 866,47 \text{ daN/m}$$

$$V = \mathbf{866,47 \text{ daN/m}}$$

Charge de neige

$$S = 8 \text{ daN/m}^2$$

$$S = 8 \times 3,75 = 30 \text{ daN/m}$$

Charge d'exploitation (deux ouvriers + 01 caisse à outils) = 200 daN

$$S = 200 \text{ daN}$$

IV.5.2.3. Combinaisons des charges

- **L'état limite ultime ELU**

$$Q_1 = 1,35G + 1,5 S = 1,35 \times 276,36 + 1,5 \times 30 = 418,09 \text{ daN/m}$$

$$Q_1 = 1,35G + 1,5x V = 1,35 \times 276,36 + 1,5 \times 866,47 = 1672,79 \text{ daN/m}$$

$$Q_1 = 1,35G + 0,9(S+v+q) = 1,35 \times 276,36 + 0,9(200+30+866,47) = 2017,8 \text{ daN/m}$$

$Q_1 = 2017,8 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable.

- **L'état limite de service ELS**

$$Q_2 = G + S = 276,36 + 30 = 306,36 \text{ daN/m}$$

$$Q_2 = G + V = 276,36 + 866,47 = 1142,83 \text{ daN/m}$$

$$Q_2 = G + (S + v + q) = 276,36 + (200 + 30 + 866,47) = 1372,83 \text{ daN/m}$$

$Q_2 = 1372,83 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable.

IV.5.2.4. Vérification de la flèche

- **Projection de q suivant les axes y-y', z-z'**

Suivant z-z' :

$$F = Q_2 \times \cos \alpha = 1372,83 \times \cos 3,57 = 1370,16 \text{ daN/m}$$

Suivant y-y' :

$$T = Q_2 \times \sin \alpha = 1372,83 \times \sin 3,57 = 85,48 \text{ daN/m}$$

$$\delta_y = \frac{5 \times T \times L^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{5}{384} \times \frac{85,48 \times 10^{-2} \times (490)^4}{2,1 \times 10^6 \times 283,58} = 1,07 \text{ cm},$$

$$\delta_z = \frac{5 \times F \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5}{384} \times \frac{1370,16 \times 10^{-2} \times (490)^4}{2,1 \times 10^6 \times 3891,6} = 1,25 \text{ cm},$$

$$\delta_{\text{éq}} = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2} \leq \frac{l}{200}$$

$$\delta_{\text{éq}} = 1,64 \leq \frac{490}{200} = 2,45 \text{ Donc la condition est vérifiée.}$$

IV.5.2.5. Calcul du moment fléchissant suivant les deux axes

- **Projection de n suivant les axes y-y' z-z'**

Suivant z-z' :

$$F = Q_1 \times \cos \alpha = 2017,8 \times \cos 3,57 = 2013,88 \text{ daN/m.}$$

Suivant y-y' :

$$T = Q_1 \times \sin \alpha = 2017,8 \times \sin 3,57 = 125,64 \text{ daN/m.}$$

IV.5.2.6. Moment fléchissant sur l'axe y – y'

L'entretoise c'est une poutre appuyée sur 2 appuis, donc :

$$M_{y, sd} = F \frac{L^2}{8} = 2013,88 \times \frac{(4,9)^2}{8}.$$

$$M_{y, sd} = 6044,15 \text{ daN.m.}$$

IV.5.2.7. Moment fléchissant sur l'axe z – z'

$$M_{z, sd} = T \frac{L^2}{8} = 125,64 \times \frac{(4,9)^2}{8}.$$

$$M_{z, sd} = 377,07 \text{ daN.m.}$$

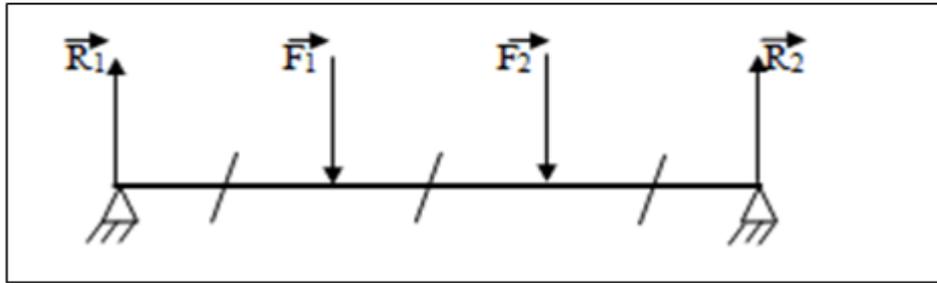
IV.5.3. Résolution du 2^{ème} système

Figure IV. 5: Charges réparties sur l'entretoise.

IV.5.3.1. Vérification de la stabilité (la flèche)

$$F_1 = F_2 = G_P \times e = 30,7 \times 3,75 / 2 = 57,56 \text{ daN}$$

- Projection de n suivant les axes $y-y'$ $z-z'$:

Suivant $y-y'$:

$$F_{1Y} = F_1 \times \sin \alpha = 57,56 \times \sin 3,57 = 3,58 \text{ daN}$$

Suivant $z-z'$:

$$F_{1Z} = F_1 \times \cos \alpha = 57,56 \times \cos 3,57 = 57,44 \text{ daN}$$

$$\delta_{z'} = \frac{79 \times F_1^2 \times L^3}{96 \times E \times I_y} = \frac{79 \times (57,44)^2 \times 10^{-2} \times (490)^3}{96 \times 2,1 \times 10^6 \times 3891,6} = 0,39 \text{ cm},$$

$$\delta_{y'} = \frac{79 \times F_1^2 \times L^3}{96 \times E \times I_z} = \frac{79 \times (3,58)^2 \times 10^{-2} \times (490)^3}{96 \times 2,1 \times 10^6 \times 283,58} = 0,0020 \text{ cm},$$

$$\delta_{\acute{e}q} = \sqrt{\delta_{y'}^2 + \delta_{z'}^2} \leq \frac{l}{200}$$

$$\delta_{\acute{e}q} = 0,39 \leq \frac{490}{200} = 2,45 \quad \text{La condition de la flèche est vérifiée.}$$

IV.5.4. Vérification de la flèche en superposant les deux systèmes 1 et 2

$$f_y = \delta_y + \delta_{y'} = 1,07 + 0,39 = 1,46 \text{ cm}$$

$$f_z = \delta_z + \delta_{z'} = 1,25 + 0,0020 = 1,2552 \text{ cm}$$

$$f_y \text{ et } f_z \leq \frac{l}{200} = \frac{490}{200} = 2,45 \text{ Donc La condition de la flèche est vérifiée.}$$

IV.5.4.1. Calcul de moments fléchissant suivant les deux axes

$$F_{1Y} = 3,58 \text{ daN}$$

$$F_{1Z} = 57,44 \text{ daN}$$

Après le calcul RDM de moment fléchissant maximum on trouve :

$$M_{f \max} = 0,208F_1, \text{ avec: } R_1 = F_1.$$

- **Le moment fléchissant sur l'axe z – z'**

$$M_{f_y} = 0,208 \times F_{1Z} = 0,208 \times 57,44 = 11,94 \text{ dan.m}$$

- **Le moment fléchissant sur l'axe y – y'**

$$M_{f_z} = 0,208 \times F_{1Y} = 0,208 \times 3,58 = 0,74 \text{ dan.m}$$

IV.5.4.2. Vérification de la résistance de l'entretoise (flexion bi-axiale)

- **Le moment fléchissant globale sur l'axe y – y'**

$$M_y = M_{y, sd} + M_{fy} = 6044,15 + 11,94 = 6056,09 \text{ dan.m}$$

- **Le moment fléchissant globale sur l'axe z-z'**

$$M_z = M_{z, sd} + M_{fz} = 377,07 + 0,74 = 377,81 \text{ dan.m}$$

- **Calcul de moment de résistance plastique de la section brute par rapport à l'axe z-z'**

$$M_{pl.z.Rd} = W_{pl,z} \times f_y / \gamma_{M_0}, \text{ Avec : } f_y = 235 \text{ N/mm}^2; \text{ et } W_{pl,z} = 73.9 \text{ mm}^3, \gamma_{M_a} = 1,1$$

$$\Rightarrow M_{pl.z.Rd} = 73.9 \times 23,5 / 1,1 = 1578,77 \text{ dan.m}$$

- **Calcul de moment de résistance plastique de la section brute par rapport à l'axe y-y'**

$$M_{pl.y.Rd} = W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M_0} \text{ Avec : } W_{pl,y} = 366.6 \text{ mm}^3.$$

$$\Rightarrow M_{pl.y.Rd} = 367 \times 23,5 / 1,1 = 7840,45 \text{ dan.m}$$

$$\frac{M_y}{M_{pl.y.Rd}} + \frac{M_z}{M_{pl.z.Rd}} < 1.$$

$$\text{Alors : } \left(\frac{6056,09}{7840,45} \right) + \left(\frac{377,81}{1578,77} \right) = 0,83 < 1 \text{ donc l'entretoise 1 résiste à la flexion bi axiale.}$$

IV.5.5. Calcul du poids de l'entretoise

Avec : n : nombre d'entretoises : 120

L : longueur de l'entretoise (L1 + L2 + L3 + L4 + L5)

$$G_{\text{ent}} = (0,98+1,96+2,94+3,92+4,9) \times 24 \times 30,7 = 10830,96 \text{ daN} = 108,30 \text{ kN}$$

IV.6. Vérification des chevrons

Pour assurer la stabilité de toiture, il est nécessaire de vérifier la résistance des chevrons qui seront modélisés comme des poutres sur 04 appuis d'égaux travées, qui reçoivent des charges réparties (poids propre) et ponctuelles (réactions des entretoises en milieu des travées), donnant lieu à la flexion.

Par rapport à la disposition et la longueur des chevrons, on va vérifier leur stabilité.

Après une succession des calculs, nous avons abouti que le profilé IPE400, convient comme un chevron.

IV.6.1. Caractéristiques de l'IPE400

h=400mm	$I_y=23128.4\text{cm}^4$	r=21mm	$I_t=51.08\text{cm}^4$
b:180mm	$W_{ply}=1307.1\text{cm}^3$	P=66.3kg/m	$A=84.5\text{cm}^2$
tw=8.6mm	$I_z=1317.58\text{cm}^4$		
tf=13.5mm	$W_{plz}=229\text{cm}^3$		

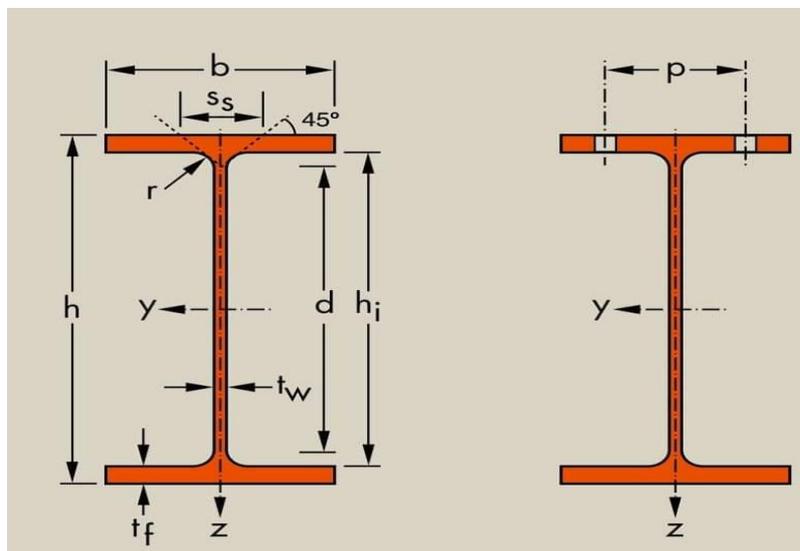


Figure IV. 6: Profilé IPE 400.

- **Résolution de système**

Comme indiqué sur la figure ci-dessus Le chevron est chargé par deux types de charge, une charge répartie q et 03 charges concentrées P identiques.

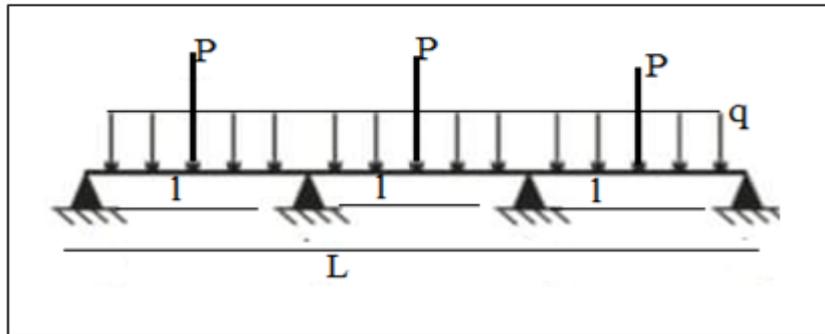


Figure IV. 7: Schéma de chargement du chevron.

Classe de section:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{275}{f_y}} = 0,93$$

L'âme :

$$\frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 2tf - 2r}{t_w} = \frac{400 - 2(13,5 + 21)}{8,9} = 38,46 \leq 72\varepsilon$$

La semelle :

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\varepsilon$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b - t_w - 2r}{2t_f} = \frac{180 - 8,9 - 2 \times 21}{2 \times 13,5} = 4,78 \leq 9\varepsilon \quad \text{Donc la section de classe I}$$

IV.6.2. Résolution de 1^{er} système

IV.6.2.1. Charges permanentes G

- **Charge de tôles :** $G_{\text{tôles}} = \rho \times e = 7850 \times 0,007 = 54,95 \text{ daN/m}^2$
- **Charge de profilé :** $G_{\text{profilé}} = 66,3 + 30,07 = 96,37 \text{ daN/m}$
- l'entraxe : $d = 5,88 \text{ m} \Rightarrow (\pi \times D/24)$.

$$G_{\text{permanentes}} = 96,37 + 54,95 \times 5,88 = 419,48 \text{ daN/m}$$

$$G_p = 419,48 \text{ daN/m}$$

IV.6.2.2. Charges variables q

Charge de vent

$$V = 231,06 \times 5,88 = 1358,63 \text{ daN/m}$$

$$V = 1358,63 \text{ daN/m}$$

➤ Charge de neige

$$S = 8 \text{ daN/m}^2$$

$$S = 8 \times 5,88 = 47,07 \text{ daN/m}$$

➤ Charge d'exploitation (deux ouvriers + 01 caisse à outils) = 200 daN

$$q = 200 \text{ daN}$$

IV.6.2.3. Combinaison des charges

- **L'état limite ultime (ELU)**

$$Q_1 = 1,35 \times G + 1,5 \times V = 1,35 \times 419,48 + 1,5 \times 1358,63 = 2604,24 \text{ daN/m.}$$

$$Q_1 = 1,35 \times G + 1,5 \times S = 1,35 \times 419,48 + 1,5 \times 47,07 = 636,9 \text{ daN/m.}$$

$$Q_1 = 1,35 \times G + 0,9 \times (q + S + V) = 1,35 \times 419,48 + 0,9 \times (200 + 47,07 + 1358,63) = 2974,8 \text{ daN/m.}$$

$Q_1 = 2974,8 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable

- **L'état limite de service (ELS)**

$$Q_2 = G + V = 419,48 + 1358,63 = 1778,11 \text{ daN/m.}$$

$$Q_2 = G + S = 419,48 + 47,07 = 466,55 \text{ daN/m.}$$

$$Q_2 = G + (q + S + V) = 419,48 + (200 + 47,07 + 1358,63) = 2025,18 \text{ daN/m.}$$

$Q_2 = 2025,18 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable

IV.6.2.4. Vérification de la flèche

- **Projection de q suivant l'axe y-y'**

Suivant y-y':

$$F = Q_2 \times \cos \alpha = 2025,18 \times \cos 3,57 = 2021,25 \text{ daN/m}$$

- Pour le 1^{er} système, on utilise un formulaire sous forme d'abaque appelée : **Abaque de MACQUART** pour déterminer la flèche.

$$\delta_1 = \frac{2,595 \times F \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{2,595}{384} \times \frac{2021,25 \times 10^{-2} \times (752)^4}{2,1 \times 10^6 \times 23128,4} = 0,89 \text{ cm}$$

$$\delta_2 = \frac{0,039 \times F \times L^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{0,039}{384} \times \frac{2021,25 \times 10^{-2} \times (752)^4}{2,1 \times 10^6 \times 23128,4} = 0,013 \text{ cm}$$

$$\delta_1 \leq \frac{l}{200} = \frac{752}{200} = 3,76 \text{ cm} \quad \text{La condition de la flèche est vérifiée.}$$

$$\delta 2 \leq \frac{l}{200} = \frac{752}{200} = 3,76 \text{ cm} \text{ La condition de la flèche est vérifiée.}$$

- **Le moment fléchissant sur l'axe y – y'**

$$M_{y, sd} = Q \frac{L^2}{8} = 2969 \times \frac{(7,52)^2}{8} = 20987,26 \text{ daN.m .}$$

$$M_{y, sd} = 20987,26 \text{ daN.m .}$$

IV.6.3. Résolution de 2^{ème} système

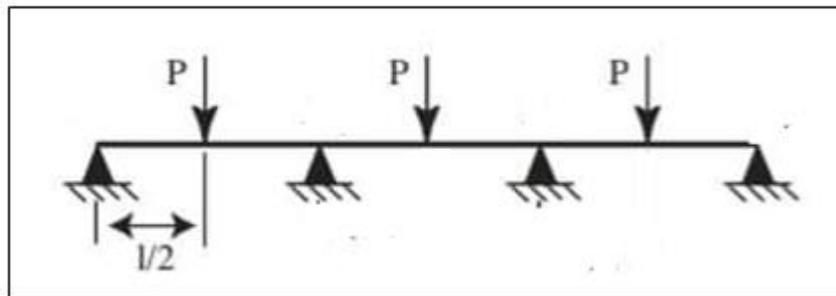


Figure IV. 8: Schéma statique de 2^{ème} système de chevron.

IV.6.3.1. Vérification de la stabilité (la flèche)

Pour simplifier nos calculs, on remplacera les charges concentrées en milieu de travée par une charge uniformément répartie afin d'utiliser les abaques de MACQUART.

$$P = G_P \times e = 96,37 \times 4,9/2 = 236,10 \text{ daN}$$

$$q_2 = P/d = 236,10 / 4,9 = 48,185 \text{ daN/m}$$

$$F = q_2 \times \cos \alpha = 48,09 \text{ daN/m}$$

$$\delta^1 = \frac{2,595 \times F \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{2,595}{384} \times \frac{48,09 \times 10^{-2} \times (752)^4}{2,1 \times 10^6 \times 23128,4} = 0,02 \text{ cm}$$

$$\delta^2 = \frac{0,039 \times F \times L^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{0,039}{384} \times \frac{48,09 \times 10^{-2} \times (752)^4}{2,1 \times 10^6 \times 23128,4} = 0,00032 \text{ cm}$$

$$\delta 1 \leq \frac{l}{200} = \frac{752}{200} = 3,76 \text{ cm} \text{ La condition de la flèche est vérifiée.}$$

$$\delta^2 \leq \frac{l}{200} = \frac{752}{200} = 3,76 \text{ cm} \text{ La condition de la flèche est vérifiée.}$$

- **La flèche totale**

$$\delta_1 = \delta_1 + \delta'_1 = 0,89 + 0,02 = 0,91 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = 3,76 \text{ cm}$$

$$\delta_2 = \delta_2 + \delta'_2 = 0,013 + 0,00032 = 0,01332 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = 3,76 \text{ cm}$$

IV.6.3.2. Vérification de la résistance de chevron (flexion simple)

- **Le moment fléchissant sur l'axe y – y'**

$$M_{y, sd} = Q \frac{L^2}{8} = 2969 \times \frac{(7,52)^2}{8} = 20987,26 \text{ dan.m.}$$

$$M_{y, sd} = 20987,26 \text{ dan.m}$$

Pour la vérification de la résistance de chevron en flexion simple on utilise la loi tirée de l'Eurocode 3 (p193) ;

$$M_{C.Rd} = W_{PL} \cdot f_y / \gamma_{M_0} = 1307.1 \times 235 / 1,1 = 279222,7 \text{ dan.m}$$

$$\Rightarrow M_{C.Rd} = 279222,7 \text{ dan.m}$$

$$M_{Sd} = 20987,26 \text{ dan.m}$$

Enfin, on vérifie le rapport suivant : $\frac{M_{Sd}}{M_{C.Rd}} = \frac{20987,26}{279222,7} = 0,075 < 1$ bien que le chevron

résiste à la flexion simple.

IV.7. Etude des poteaux

Après une succession des calculs, nous avons abouti que le profilé tubulaire Ø273 (S275), convient comme poteau :

$$D \text{ nominal} = 273 \text{ mm}$$

$$P = 23.9 \text{ kg/m}$$

$$t_w = 3.6 \text{ mm}$$

$$i = 9.526 \text{ cm}$$

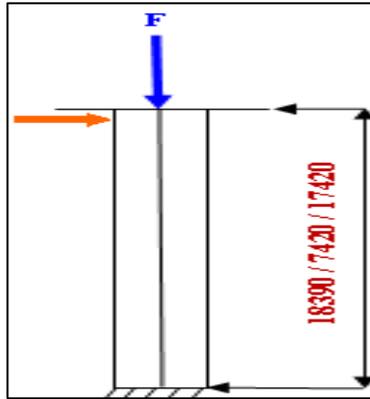


Figure IV. 9: Dimensions et schéma du poteau.

IV.7.1. Classe de section

$$\varepsilon^2 = \frac{275}{f_{\mu}} = 0.85 \quad (\text{eurocode3 P136})$$

$$D/t \leq 50\varepsilon^2 = 42.5 \quad \text{classe I}$$

$$D/t \leq 70\varepsilon^2 = 59.5 \quad \text{classe II}$$

$$D/t \leq 90\varepsilon^2 = 76.5 \quad \text{classe III}$$

$$D/t = \frac{273}{3.6} = 75.83 \leq 90\varepsilon^2$$

Donc la section de classe III

Calcul de la force de compression sur les poteaux :

$$F = \frac{G_P + G_V + G_N}{N_{\text{Poteaux}}}$$

Nombre de poteaux :

$$N_{\text{Poteaux}} = N_{\text{p. intermédiaire}} + N_{\text{poteau central}}$$

$$N_{\text{Poteaux}} = 48 + 1$$

$$N_{\text{Poteaux}} = 49 \text{ poteaux}$$

IV.7.1.1. Charges permanentes G_p

- **Charge de tôles :**

$$G_{\text{tôles}} = \rho \times e \times S = \rho \times e \times \pi \times R \times (R^2 + h^2)^{0.5}$$

Surface de cône

$$S_{\text{cône}} = \pi \times R \times \sqrt{R^2 + h^2}$$

$$S = \pi \times 22,5 \times (22,5^2 + 1,4^2)^{0.5} = 1592,7 \text{ m}^2$$

$$G_{\text{tôles}} = 7850 \times 0.007 \times 1592,7 = 87518,86 \text{ daN} = 875,188 \text{ KN}$$

$$\text{Charge de tôles : } G_{\text{tôles}} = 875,188 \text{ KN}$$

- **Charge chevrons :**

$$C_{\text{chevrons}} = L \times P \times N$$

L= longueur chevron

P= poids de chevron

N = nombre des chevrons

$$G = 22,5 \times 66,3 \times 24 = 358,02 \text{ kN}$$

- **Charge entretoises:**

$$G_{\text{ent}} = (0,98 + 1,96 + 2,94 + 3,92 + 4,9) \times 24 \times 30,7 = 10830,96 \text{ dan} = 108,30 \text{ kN}$$

- **Charge de charpente :**

$$G_{\text{charpente}} = G_{\text{tôles}} + G_{\text{ent}} + G_{\text{chevron}}$$

$$G_{\text{charpente}} = 875,188 + 108,30 + 358,02 = 1341,5 \text{ kN}$$

$$G_{\text{permanentes}} = 883,11 + 1341,5 = 2224,68 \text{ kN}$$

$$G_p = 2224,68 \text{ kN.}$$

- **Charge de vent :**

$$Q_V = 231,06 \times S = 231,06 \times 1592,7 = 368009,26 \text{ daN} = 3680,09 \text{ KN}$$

$$Q_V = 3680,09 \text{ KN}$$

- **Charge de neige :**

$$Q_N = n \times S = 8 \times 1592,7 = 12741,6 \text{ daN} = 127,41 \text{ KN}$$

$$Q_N = 127,41 \text{ KN.}$$

$$F = \frac{G_P + G_V + G_N}{N_{\text{Poutaux}}} = \frac{2216,68 + 3680,09 + 127,41}{49} = 122,94 \text{ KN}$$

$$F = 122,94 \text{ kN.}$$

IV.7.1.2. Vérification à la compression

$$\sigma \leq \frac{F}{A} \leq \sigma_e \quad \text{Avec : } F = 95,75 \text{ kN.}$$

$$A = 30,47 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_e = 275 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{95,75 \times 10^3}{3047} = 31,42 \text{ Mpa}$$

$\sigma \leq \sigma_e$ Le poteau résiste à la compression

Poteau central :

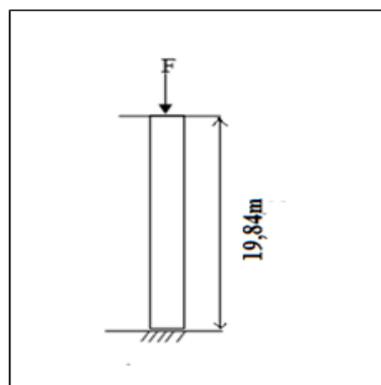


Figure IV. 10: Poteau central.

IV.7.1.3. Vérification au flambement

Il faut vérifier : $N_{sd,y} \leq N_{b,Rd,y}$

Tel que la résistance de calcul au flambement d'un élément doit être prise égale à :

$$N_{y, sd} \leq \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

$$\gamma_{M1} = 1.1$$

$$f_y = 275 \text{ Mpa}$$

$$\beta_A = 1 \text{ (Pour les sections de classe I, II ou III)}$$

$$A = 30.47 \text{ cm}^2$$

$$I = 9.526 \text{ cm}$$

$$L_{y(\text{flambement})} = 0.7 \times L_{y(\text{Poteau})} = 1388,8 \text{ cm}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \left(\phi^2 - \lambda^2 \right)^{0.5}}$$

$$\phi = 0.5 [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2].$$

Avec :

α : est un facteur d'imperfection

λ : est l'élanement pour le mode de flambement considéré

$$\lambda = \frac{L_{y(\text{flambement})}}{i_y} = \frac{1388,8}{9.526} = 145,79$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times \varepsilon \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0.92$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times 0.92 = 86.38.$$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{145,79}{86,38} \right) [1]^2 = 1,88$$

$$\alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5[1+0,21(1,88-0,2)+ 1,88^2]=2,44.$$

$$x = \frac{1}{2,44 + [2,44^2 + 1,88^2]^{0,5}} = 0,18$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0,18 \times 1 \times 3047 \times 275 \times 10^{-3}}{1,1} = 137,11 \text{ kN}$$

$$N_{sd,y} = F \text{ force de compression} = 122,94 \text{ kN.}$$

$$N_{sd,y} \leq N_{b,Rd,y}, \quad \text{Le raidisseur résiste au flambement.}$$

Poteau intermédiaire 2 :

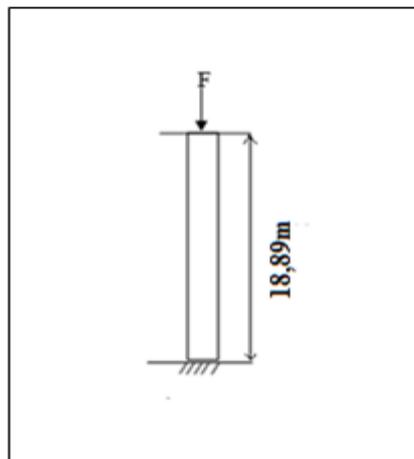


Figure IV. 11: Poteau intermédiaire 2.

IV.7.1.4. Vérification au flambement

Il faut vérifier : $N_{sd,y} \leq N_{b,Rd,y}$

Telle que la résistance de calcul au flambement d'un élément doit être prise égale à :

$$N_{y, sd} \leq \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

$$\gamma_{M1}=1.1$$

$$f_y=275 \text{ Mpa}$$

$$\beta_A = 1 \text{ (Pour les sections de classe I, II ou III)}$$

$$A = 30.47 \text{ cm}^2$$

$$i = 9.526 \text{ cm}$$

$$L_{y(\text{flambement})} = 0.7 \times L_{y(\text{Poteau})} = 0.7 \times 1889 = 1322,3 \text{ cm}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0.5}}$$

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2].$$

Avec :

α : est un facteur d'imperfection

λ : est l'élanement pour le mode de flambement considéré

$$\lambda = \frac{L_{y(\text{flambement})}}{i_y} = \frac{1322,3}{9.526} = 138,8$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times \varepsilon \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0.92$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times 0.92 = 86.38.$$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{138,8}{86.38} \right) [1]^2 = 1,6$$

$$\alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5[1 + 0,21(1,6 - 0,2) + 1,6^2] = 1,92.$$

$$x = \frac{1}{1,92 + [1,92^2 + 1,6^2]^{0.5}} = 0,22$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0.22 \times 1 \times 3047 \times 275 \times 10^{-3}}{1.1} = 167,52KN$$

$$N_{sd,y} = F_{\text{force de compression}} = 122,94kN.$$

$N_{sd,y} \leq N_{b,Rd,y}$ Le poteau intermédiaire 2 résiste au flambement.

IV.8. Conclusion

Les charpentes de toit soutenues par des poteaux sont reconnues comme des structures économiques car leur conception permet un montage simple sur site. Ce type de charpente peut être employé sur de plus grands réservoirs car il n'est pas limité en diamètre vu qu'il est toujours possible de l'agrandir en ajoutant une rangée supplémentaire de poteaux, d'entretoises et de chevrons.

Chapitre V

Stabilité du réservoir

V. Stabilité du réservoir

V.1. Étude de vent

V.1.1. Introduction

Le réservoir peut perdre sa stabilité sous deux directions principales :

- Direction radiale : sous l'effet du vent
- Direction axiale : sous l'effet de son poids.

La pression du vent, dont on ne connaît pas sa fonction de répartition le long de la périphérie du réservoir provoque une dissymétrie de chargement, de ce fait l'étude revient à traité un problème de flexion non symétrique de coque cylindrique, qui conduit à des formules très compliquées à résoudre sans faire des approches numériques. Pour en remédier, on a recours à des formules empiriques proposées par l'API 650 Std. La pression longitudinale des parois due au poids de la structure peu provoqué des déformations axiales importants, de cette compression peut en résulter un phénomène qui s'appelle «patte d'éléphant».



Figure V. 1: Patte d'éléphant.

V.1.2. Calcul du module d'inertie minimum Z_{\min}

Selon l'API 650 STD (5.9.6.1), le module d'inertie minimum requis de la section de la poutre est donné par la formule suivante :

$$Z_{\min} = \frac{D^2 \times H}{17} \times \left(\frac{V}{190} \right)^2$$

$$Z_{\min} = \frac{45^2 \times 18,44}{17} \times \left(\frac{160}{190} \right)^2 = 1557,65 \text{ cm}^3$$

$$Z_{\min} = 1557,95 \text{ cm}^3$$

- Z_{\min} : Module d'inertie minimale de section cm^3 ;
- D : Diamètre du réservoir ;
- H : Hauteur du réservoir ;
- V : Vitesse du vent 160 km/h.

V.1.3. Stabilité du réservoir sous le vent

V.1.3.1. Calcul de la hauteur maximale non raidie

La poutre au vent intermédiaire est nécessaire si : $H_{\max} \leq W_{\text{tri}}$

Tel que :

- H_{\max} : Hauteur maximale non raidie ;
- W_{tri} : Hauteur transformée.

Selon [API650 (5.9.7.1)] on a :

$$H_{\max} = 9,47 \times t \times \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3} \times \left(\frac{190}{V}\right)^2$$

$$H_{\max} = 9,47 \times 8 \times \sqrt{\left(\frac{8}{45}\right)^3} \times \left(\frac{190}{160}\right)^2 = 8\text{m}$$

$$H_{\max} = 8\text{m}$$

Tels que :

- t : Epaisseur de la dernière virole = 8 mm ;
- D : Diamètre intérieur du bac : 45 m ;
- V : Vitesse de vent = 160 km/h.

V.1.3.2. Calcul de la hauteur transformée

Selon API 650 (5.9.7.2), la hauteur transformée est calculée sous la forme suivante :

$$W_{\text{tri}} = \sum_{i=1}^8 \left(w_i \times \sqrt{\left(\frac{t_{\text{uniform}}}{t_{\text{actuel}}}\right)^5} \right)$$

Tels que :

- W_i : Largeur des tôles = 2450 mm ;
- t_{uniform} : Epaisseur de la dernière virole = 8 mm ;
- t_{actuel} : Epaisseur de chaque virole en (mm).

$$W_{\text{tri}} = \left(2450 \times \sqrt{\left(\frac{8}{21}\right)^5} \right) = 219,45 \text{ mm}$$

$$W_{\text{tri}} = 219,45\text{mm}$$

$$W_{tr2} = \left(2450 \times \sqrt{\left(\frac{8}{19}\right)^5} \right) = 281,84 \text{ mm} \quad \boxed{W_{tr2} = 281,84\text{mm}}$$

$$W_{tr3} = \left(2450 \times \sqrt{\left(\frac{8}{16}\right)^5} \right) = 433,10 \text{ mm} \quad \boxed{W_{tr3} = 433,10\text{mm}}$$

$$W_{tr4} = \left(2450 \times \sqrt{\left(\frac{8}{14}\right)^5} \right) = 604,74 \text{ mm} \quad \boxed{W_{tr4} = 604,74 \text{ mm}}$$

$$W_{tr5} = \left(2450 \times \sqrt{\left(\frac{8}{11}\right)^5} \right) = 1105 \text{ mm} \quad \boxed{W_{tr5} = 1105 \text{ mm}}$$

$$W_{tr6} = \left(2450 \times \sqrt{\left(\frac{8}{10}\right)^5} \right) = 1402,46 \text{ mm} \quad \boxed{W_{tr6} = 1402,46\text{mm}}$$

$$W_{tr7} = \left(2450 \times \sqrt{\left(\frac{8}{9}\right)^5} \right) = 1825 \text{ mm} \quad \boxed{W_{tr7} = 1825 \text{ mm}}$$

$$W_{tr8} = \left(1250 \times \sqrt{\left(\frac{8}{8}\right)^5} \right) = 1250 \text{ m} \quad \boxed{W_{tr7} = 1250 \text{ mm}}$$

Tableau V. 1: Résumé des valeurs de la hauteur transformée.

Nombre de viroles	t uniforme (mm)	T actuelle (mm)	W _i (mm)	W _{tri} (mm)
V ₁	8	21	2450	219,45
V ₂	8	19	2450	281,84
V ₃	8	16	2450	433,10
V ₄	8	14	2450	604,74
V ₅	8	11	2450	1105
V ₆	8	10	2450	1402,46
V ₇	8	9	2450	1825
V ₈	8	8	1250	1250
Somme W _{tri}				7121,6

$$\text{Somme } W_{\text{tri}} = 7,12\text{m}$$

Donc :

$$H_{\text{max}} \geq W_{\text{tri}}$$

$$8\text{m} \geq 7,12\text{m}$$

Alors le réservoir est stable et ne nécessite pas un raidisseur.

V.1.4. Stabilité du réservoir au vent

• Moment de basculement dû au vent

Selon API 650 STD (5.11.2.1), pour que le bac soit stable et ne nécessite pas d'ancrage les trois conditions suivantes doivent être vérifiées :

- 1) $0,6M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$
- 2) $M_w + F_P(M_{pi}) < \frac{(M_{DL} + M_F)}{1,5} + M_{DLR}$
- 3) $M_{ws} + F_P(M_{pi}) < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$

Avec:

- M_w : Moment de basculement dû au vent ;
- M_{pi} : Moment dû à la pression intérieure = 0 ;
- M_{DL} : Moment dû au poids de la robe et de la structure supportée par la robe ;
- M_{DLR} : Moment dû au poids du toit y compris accessoires ;
- F_P : Coefficient de combinaison de pressions ;
- M_F : Moment dû au poids du liquide ;
- M_{ws} : Moment de renversement dû à la pression du vent vertical.

▪ Calcul de M_{wR}

$$M_w = M_{wR} + M_{ws}$$

$$M_{wR} = P_T \times S_{pR} \times L_R$$

$$M_{wR} = P_T \times \left(\frac{V}{190}\right)^2 \times D \cdot H \cdot \frac{H}{2}$$

$$M_{wR} = 0,86 \times \left(\frac{160}{190}\right)^2 \times 45 \times 18,44 \times \frac{18,44}{2} = 4665,90 \text{ KN.m}$$

$$M_{wR} = 4665,90 \text{ KN.m}$$

Tels que :

- P_r : Pression du vent sur la robe = 0,86 KPa = 87,69559 kg/m² ;
- M_{wR} : Moment de reversement dû à la pression du vent horizontal ;
- V : Vitesse de conception de vent (rafale à 3 secondes) = 160 km/h ;
- H : Hauteur de réservoir = 18,44m.

▪ **Calcul de M_{wS}**

$$M_{wS} = P_T \times S_{pT} \times L_T$$

$$M_{wS} = 1,44 \times \left(\frac{V}{190}\right)^2 \cdot \pi \times R^2 \cdot (H + H_2)$$

$$M_{wS} = 1,44 \times \left(\frac{160}{190}\right)^2 \cdot \pi \times 22,5^2 \cdot (18,44 + 1,4) = 32205,61 \text{ KN.m}$$

$M_{wS} = 32205,61 \text{ KN.m}$

Tels que :

- P_T : Pression verticale du vent (soulèvement sur le toit) = 1,44 KPa = 146,839 kg/m² ;
- S_{pT} : Surface horizontale projetée du toit (m²) ;
- L_T : Hauteur du centre de gravité du toit (m).
- H_2 : Hauteur du toit = 1,4 m.

Alors :

$$M_w = M_{wR} + M_{wS}$$

$$M_w = 4665,90 + 32205,61 = 36871,51 \text{ KN.m}$$

$M_w = 36871,51 \text{ KN.m}$

Calcul de M_{DL}

$$M_{DL} = M_{DLS} + M_{DLR}$$

$$- M_{DLS} = W_S \times \frac{D}{2} = 3014,95 \times \frac{45}{2} = 67836,37 \text{ KN.m}$$

$$- M_{DLR} = W_{RS} \times \frac{D}{2} = 2224,68 \times \frac{45}{2} = 50055,3 \text{ KN.m}$$

Tels que :

- M_{DLS} : Moment du au poids de la robe y compris accessoires ;
- M_{DLR} : Moment du au poids du toit y compris accessoires ;

- W_S : Poids de la robe y compris accessoires = 3014,95 KN ;
- D : Diametre du réservoir = 45 m ;
- W_{RS} : Poids du toit y compris accessoires = 2224,68 KN.

Alors :

$$M_{DL} = 66036,37 + 49875,3 = 117891,67 \text{ KN.m}$$

$$M_{DL} = 117891,67 \text{ KN.m}$$

▪ Calcul M_F

$$M_F = (W_L \times 2\pi.R) \times R$$

Selon API 650 STD (5.11.2.3)

$$W_L = 59.t_b.\sqrt{F_{by} \cdot h} = 59 \times 7 \cdot \sqrt{290 \times 18,44} = 30201,56 \text{ N/m}$$

$$W_L = 30,2 \text{ KN.m}$$

Donc :

$$M_F = (30,2 \times 2\pi \cdot 22,5) \times 22,5 = 96013,35 \text{ KN.m}$$

$$M_F = 96013,35 \text{ KN.m}$$

Tel que :

- W_L : Charge circonférentielle due au poids du liquide;
- t_b : Epaisseur de tôle marginale (sans l'épaisseur de corrosion = 7mm) ;
- F_{by} : Limite élastique du matériau de la tôle marginale = 290 Mpa ;
- h : Hauteur du produit = 18,44m

Tableau V. 2: Résumé des Résultats.

Fonction en (KN.m)	M_{wr}	M_{ws}	M_w	M_{Dls}	M_{DLR}	M_{DL}	W_L	M_F	M_{pi}
Valeurs	4665,90	32205,61	36871,51	67836,37	50055,3	117891,67	30,2	96013,35	0

▪ Vérifications des conditions

✓ Vérifications de la première condition

$$0,6M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$0,6M_w + M_{pi} = 0,6 \times 36871,51 + 0 = 22122,9 \text{ KN.M}$$

$$\frac{117891,67}{1,5} + 50055,3 = 228649,74 \text{ KN.M}$$

$$22122,9 \text{ KN.m} < 228649,74 \text{ KN.m}$$

La première condition est vérifiée

✓ Vérifications de la deuxième condition

$$M_w + F_P(M_{pi}) < \frac{(M_{DL} + M_F)}{1,5} + M_{DLR}$$

$$M_w + F_P(M_{pi}) = 36871,51 + 0 = 36871,51 \text{ KN.m}$$

$$\frac{(M_{DL} + M_F)}{1,5} + M_{DLR} = \frac{117891,67 + 96013,35}{1,5} + 50055,3 = 192658,64 \text{ KN.m}$$

$$36871,51 \text{ KN.m} < 192658,64 \text{ KN.m}$$

La deuxième condition est vérifiée.

✓ Vérifications de la troisième condition

$$M_{ws} + F_P(M_{pi}) < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$M_{ws} + F_P(M_{pi}) = 32205,61 + 0 = 32205,61 \text{ KN.m}$$

$$\frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR} = \frac{117891,67}{1,5} + 50055,3 = 128649,74 \text{ KN.m}$$

$$32205,61 \text{ KN.m} < 128649,74 \text{ KN.m}$$

La troisième condition est vérifiée.

V.2. Étude sismique

V.2.1. Introduction

L'étude sismique implique la détermination du moment de renversement appliqué à la robe du fait de la réponse des masses au déplacement latéral du sol afin de prendre les mesures nécessaires pour assurer la stabilité de l'enveloppe du réservoir contre le renversement et éviter son flambage sous la compression longitudinale.

Quant au comportement du toit fixe, lorsque le réservoir est soumis au séisme, n'est pas évident, car il implique l'étude des actions dynamiques réciproques qui se développent à la suite d'une excitation, entre le toit et la masse active du fluide d'une part, d'autre part entre le toit et la robe du réservoir. Ceci engendrera des divers problèmes, tel que à ces problème, on choisit un joint qui convient non seulement pour répondre à la condition d'étanchéité, mais aussi qu'il ait une bonne flexibilité afin d'amortir les chocs et absorber l'énergie développée par la force d'inertie.

V.2.2. Données du site et de l'ouvrage

Zone sismique : zone II
 Identification de site : D
 Groupe de site (importance de l'ouvrage): SUG III
 Code de calcul : API 650, annexe E

V.2.3. Moment de renversement

Selon (API 650 ANNEXE : E)

Le moment du renversement aux forces sismique appliqué à la base de la robe du réservoir est donné par la formule suivante :

$$Mrw = \sqrt{[Ai(WiXi + WsXs + WrXr)]^2 + [Ac (WcXc)]^2} \quad \text{API650 (E.6.1.5-1)}$$

Où :

Mrw : Moment de renversement en (N.m) ;

Ai : coefficient d'accélération de spectre de réponse impulsive (%g) ;

Ac : coefficient d'accélération de spectre de réponse convective (%g) ;

Ws : poids total de la robe = 3014950 N ;

Xs : hauteur de la partie inférieure de la robe du réservoir et le centre de gravité de la robe = 9,22m;

Wr : Poids du toit + accessoires + 10% de la surcharge de la neige N [API 650(E.2.2)] ;

Wr= Wrs+10%(Qn×St) avec :

$$Wr = 2224680 + 0,1(0,08 \times 1589,62) = 2224692,7 \text{ N}$$

$$Wr = 2224692,7 \text{ N} = 2224,6927 \text{ KN}$$

Xr : hauteur de la partie inférieure de la robe du réservoir au centre de gravité du toit = 19,84 m ;

Wi : poids effectif de la partie impulsive du produit ;

Xi : hauteur de la partie inférieure de la robe du réservoir et le centre de la force sismique latérale, correspondant à la force impulsive de produit ;

Wc: poids effective de la partie convective du produit ;

Xc : hauteur de la partie inférieure de la robe du réservoir et le centre de la force sismique Latérale correspondant à la force convective de produit.

V.2.3.1. Détermination des coefficients d'accélération de spectre de réponse impulsive et convective

Les coefficients d'accélération de spectre de réponse impulsive et convective A_i est donné (API 650 E.4.6.2) :

- **Coefficient d'accélération de spectre de réponse impulsive A_i**

$$A_i = S_{ds} \times \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) = 2,5 \times Q \times F_a \times S_0 \times (I/R_{wi})$$

Où :

$Q = 1$: facteur d'échelle à partir de la méthode jusqu'aux accélérations de conception de niveau de spectre. $Q = 1$ pour les sites non définis en ASC7 (régions définies aux USA)[API 650 (E4.6.2-1)]

$F_a = 1,1$: Coefficient d'accélération basée sur le site, à une période de 0,2 second [API 650 (Tabl E-1)]

$I = 1$: coefficient de facteur d'importance [API 650 (Tabl E-5)]

$R_{wi} = 4$ (Pour un cas plus défavorable : prévision d'ancrage). [API 650 (Tabl E-4)]

$S_p = 0,25$: Coefficient de zone « Zone IIa » (Boumerdes) .

S_0 : Paramètre d'accélération de spectre de réponse à zéro (0) seconde pour un maximal tremblement de terre considéré, atténuée à 5%, basé sur la carte géographique du site.

S_s : Paramètre d'accélération de spectre de réponse à une courte période de 0,2 seconde pour un maximal tremblement de terre considéré, atténuée à 5%, basé sur la carte géographique du site [API 650 Tabl (E.3.2)].

$S_s = 2,5 \times S_p = 0,625\% g$ [API 650 (tabl E.4.3-2)]

$S_0 = 0,4 \times S_s = 0,25\% g$

$S_1 = 1,25 \times S_p = 1,25 \times 0,25 = 0,312\% g$ [API 650 (tabl E.4.3-1)]

$A_i = (2,5 \times 1 \times 1,1 \times 1,1 \times 0,25) \times 1/4 = 0,17\% g$

- **Coefficient d'accélération de spectre de réponse convective A_c :**

- Si $T_c \leq T_L$:

$$A_c = (2,5 \times K \times Q \times F_a \times S_0) (T_s / T_c) (I/R_{wc}).$$

- Si $T_c > T_L$:

$$A_c = (2,5 \times K \times Q \times F_a \times S_0) (T_s T_L / T_c^2) (I/R_{wc}).$$

Où :

F_v : [API 650 (Tabl E-2)] Coefficient de vitesse basée sur le site, à une période d'une (01) seconde.

T_c : période naturelle de comportement du liquide pour le mode convectif, (secondes).

T_L : [API 650 (E4.6.1)] période de transition (dépend de la région) pour plus long période de tremblement de terre, (secondes).

$K = 1,5$: [API 650 (E2.2)] Coefficient d'ajustement (d'amortissement) de l'accélération de spectre de 5% à 0,5%.

$T_s = (F_v \times S_1) / (F_a \times S_s) = 1,5 \times 0,31 / 1,1 \times 0,625 = 0,676$ sec [API 650 (E2.2)] en (seconde)

$T_L = 4$ sec.

K_s : coefficient de période de tremblement [API 650 (Fig EC.6)].

$$\begin{cases} T_c = 1,8 K_s D^{1/2} \\ \text{Et} \\ K_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68H}{D}\right)}} = 0,61 \end{cases}$$

$$T_c = 1,8 \times 0,61 \times \sqrt{45} = 7,36 \text{ s}$$

Donc : $T_c > T_L$ et ($T_L = 4$ s)

$$A_c = (2,5 \times K \times Q \times F_a \times S_0) (T_s T_L / T_c^2) (1/R_{wc}).$$

$$A_c = 2,5 \cdot (1,5) \cdot (1) \cdot (1,1) \cdot (0,25) \cdot (0,676 \cdot 4 / 7,36^2) \cdot (1/4) = 0,012\% g$$

$A_c = 0,012\% g$

V.2.3.2. Détermination du poids de la masse effective et convective du contenu du réservoir

- le poids de la masse effective W_i

$(D/H) = 2,44 \geq 1,333$, donc W_i est donnée par l'équation **E.6.1.1-1**:

$$W_i = W_p \times \frac{\tanh(0,866 \times (D/H))}{0,866 \times (D/H)}$$

Avec :

$D = 45$ m: diamètre de réservoir ;

$H = 18,44$ m : hauteur de réservoir ;

$\rho = 840 \text{ kg/m}^3$: masse volumique de produit.

W_p (poids du produit stocké): $\pi \cdot R^2 H \cdot G \cdot \rho = 3,14 \times 22,5^2 \times 18,44 \times 9,8 \times 840 =$
241302022,9N

$$W_i = 241302022,9 \times \frac{\tanh\left(0,866 \left(\frac{45}{18,44}\right)\right)}{0,866 \times \left(\frac{45}{18,44}\right)}$$

$W_i = 110894116,7N$

- le poids de la masse effective et convective W_C

$$W_C = (0,230 \cdot \frac{D}{H} \cdot \tanh \frac{3,67H}{D}) \cdot W_p$$

$$W_C = 122686167,2N$$

V.2.3.3. Détermination du centre de la force sismique latérale X_i et X_c

Selon API 650 (E6.1.2.1-1)

$(D/H) = 2,44 \geq 1,333$, donc X_i est donné par la formule :

$$X_i = 0,375 H$$

$$X_i = 6,91m$$

$$X_c = \left[1 - \frac{[\cosh(3,67 \cdot (H/D)) - 1]}{3,67 \cdot \left(\frac{H}{D}\right) \cdot [\sinh(3,67 \cdot (H/D))]} \right] \cdot H$$

$$X_c = \left[1 - \frac{[\cosh(3,67 \cdot (18,44/45)) - 1]}{3,67 \cdot \left(\frac{18,44}{45}\right) \cdot [\sinh(3,67 \cdot (18,44/45))]} \right] \times 18,44 = 10,63m$$

$$X_C = 10,63m.$$

$$Mrw = \sqrt{[0,17(110894116,7 \times 6,91 + 3014950 \times 9,22 + 2224680 \times 19,84)]^2 + [0,012 (122686167,2 \times 10,63m)]^2}$$

$$\text{Donc : } Mrw = 143353158,7 \text{ N.m}$$

Tableau V. 3: Facteurs de calculs.

Élément	Valeur (N)	Elément	Valeur (m)	Elément	Valeur (% g)
W_s	3014950	X_s	9,22	A_i	0,17
W_r	2224680	X_r	19,84	A_c	0,012
W_c	122686167,2	X_c	10,63		
W_i	110894116,7	X_i	6,91		

V.2.4. Conditions pour un réservoir auto-ancré

Pour un réservoir auto-ancré (qui ne nécessite pas d'ancrage) une partie de son poids doit résister au moment de renversement Mr_w .

Un réservoir sera auto-ancré si les conditions suivantes sont réalisées:

- La force de résistance est suffisante pour assurer la stabilité du réservoir, (par exemple, le rapport d'ancrage, $J \leq 1,54$).
- la largeur maximale de la tôle marginale du fond de réservoir, pour la détermination des forces résistantes, est de 3,5% par rapport au diamètre du réservoir.
- la contrainte de compression de la robe doit satisfaire au (API 650 E.6.2.2).
- l'épaisseur de la tôle marginale de fond du réservoir ne doit pas être supérieure à l'épaisseur de la première virole de la robe.

V.2.4.1. Vérification de la 1^{ère} condition (calcul du rapport d'ancrage J)

$$J = \frac{Mr_w}{D^2(W_t(1 - 0,4A_v) + W_a - 0,4 \times W_{int})} \quad \text{API650 (E.6.2.1.1-1)}$$

W_t : charges de toutes les parties (robe y compris accessoires, poids de toit supporté par la robe, et 10% de la charge de neige), qui font une contrainte sur les parties inférieures de la robe, N/m.

$$W_t = \frac{W_s}{\pi D} + \frac{W_{rs}}{\pi D}$$

$W_s = 3014950 \text{ N} = 3014,95 \text{ KN}$: poids de la robe.

$W_{rs} = 2224692,7 \text{ N} = 2224,692 \text{ KN}$: charge du toit sur la robe plus 10% de la charge de neige par unité de la longueur de la circonférence du réservoir.

$$W_t = \frac{3014950 + 2224692,7}{\pi \cdot 45} = 37081,68 \text{ N/m}$$

$$W_t = 37,0816 \text{ KN/m}$$

$W_a = 99 \times t_a \times \sqrt{(F_{by} \times H \times G_e)}$: la force résistante de contenu de réservoir.

F_{by} : 290 MPA : limite d'élasticité minimale du matériau de la tôle marginale du fond.

$H = 18,44 \text{ m}$: hauteur de réservoir.

A_v : Coefficient d'accélération verticale de tremblement de terre [API 650(E.2.2)]

$$A_v = 0,47 \times S_d = 0,47 \times Q \times F_a \times S_0 = 0,13 \% g$$

$$G_e = (1 - 0,4 \times A_v) = (1 - 0,4 \times 0,13) = 0,94 \% g$$

$$G_e = 0,94$$

W_{int} = soulèvement due à la pression du produit $W_{int} = p \times g \times h / \pi \times D$ [API 650 (E2.2)]

$t_a = 7 \text{ mm}$: l'épaisseur de la tôle marginale du fond du réservoir (sans surépaisseur de corrosion).

$$W_a = 99 \times 7 \times \sqrt{(290 \times 18,44 \times 0,94)} = 49133,37 \text{ N/m.}$$

$$W_a = 49,133 \text{ KN/m}$$

$$W_{\text{int}} = p \times g \times h / \pi \times D \quad [\text{API 650 (E2.2)}]$$

$$W_{\text{int}} = 840 \times 9,8 \times 18,44 / \pi \times 45 = 1074,3 \text{ N/m.}$$

$$W_{\text{int}} = 1074,3 \text{ N/m}$$

Donc :

$$J = \frac{Mr_w}{D^2(W_t(1 - 0,4Av) + W_a - 0,4W_{\text{int}})} = \frac{143353158,7}{45^2(37081,68(0,94) + 49133,37 - 0,4 \times 1074,3)} = 0,84$$

$$J = 0,84 \quad = 0,785 < J \leq 1,54 ; \text{ Le bac est stable et ne nécessite pas d'ancrage.}$$

V.2.4.2. Vérification de la 2^{ème} condition

$$L = 0,01723 \cdot t_a \cdot \sqrt{[F_{by}] / (H \cdot G_e)} \leq 0,035 \cdot D \quad \text{API650 (E.6.2.1.1.2)}$$

$F_{by} = 290 \text{ MPa}$: limite d'élasticité minimale de matériau de la tôle marginale.

$t_a = 7 \text{ mm}$: l'épaisseur de la tôle marginale sans surépaisseur de corrosion.

$$L = 0,01723 \times 7 \times \sqrt{[290 / (18,44 \times 0,94)]} = 0,493 \text{ m}$$

$$L = 0,493 \text{ m}$$

$$L = 0,493 \text{ m} \leq 0,035 \times 45 = 1,575 \text{ m} ; \text{ Donc la deuxième condition est vérifiée.}$$

V.2.4.3. Vérification de la 3^{ème} condition

Selon (API 650 E.6.2.2) :

La contrainte longitudinale admissible de la compression sous la robe est donnée par F_c

- **Calcul de F_c**

On a :

$$G \cdot H \cdot \left(\frac{D}{t}\right)^2 = 0,9 \times 18,44 \times (45/7)^2 = 683,92 \geq 44$$

Avec :

$t = 17 \text{ mm}$: épaisseur de la première virole de la robe sans la surépaisseur de corrosion

$G = 0,9$: gravité spécifique.

$D = 45 \text{ m}$.

Donc :

$$F_c = 83 \text{ ts/D}$$

$$F_c = 83 \times 17 / 45 = 31,35 \text{ MPa}$$

$$F_c = 31,35 \text{ MPa}$$

La contrainte longitudinale maximale de compression sous de la robe, pour un réservoir auto-ancré, est donnée par σ_c ;

$$\sigma_c = [Wt(1 + 0,4.A_v) + \left(\frac{1,273 \cdot Mr_w}{D^2}\right)] \left(\frac{1}{1000 \cdot t_s}\right)$$

$T_s = 7 \text{ mm}$: épaisseur de la première virole de la robe (sans tenir compte au surépaisseur de corrosion)

$$\sigma_c = [(37081,68 \times (1 + 0,4 \times 0,13)) + \left(\frac{1,273 \times 143353158,7}{45^2}\right)] \left(\frac{1}{1000 \times 17}\right) = 7,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 7,6 \text{ N/mm}^2$$

Les deux conditions suivantes doivent être réalisées :

- 1) σ_c doit être inférieure à F_c .

$$\sigma_c = 7,6 \text{ N/mm}^2 \leq F_c = 31,35 \text{ N/mm}^2$$

- 2) F_c doit être inférieure à $0,5 \cdot F_{by}$

$F_{by} = 290 \text{ MPa}$: limite d'élasticité minimale de la tôle marginale (A573 gr 70).

$$F_c = 31,5 \text{ MPa} \leq 0,5 \cdot 290 = 145 \text{ MPa}$$

La 3^{ème} condition est vérifiée. Donc le réservoir résiste aux contraintes de compression, sous la robe.

V.2.4.4. Vérification de la 4^{ème} condition

Selon l'API650 (E.6.2.1.1.2)

L'épaisseur (sans surépaisseur de corrosion) de la tôle marginale de fond de réservoir ne doit pas être supérieure à l'épaisseur de la première virole de la robe (sans surépaisseur de corrosion)

$t_a = 7 \text{ mm}$: épaisseur de la tôle marginale de fond du bac (sans surépaisseur de corrosion)

$T_{s1} = 17 \text{ mm}$: épaisseur de la première virole de la robe (sans surépaisseur de corrosion)

Donc : $t_a \leq t_{s1}$

On a : $t_a = 7 \text{ mm} \leq t_{s1} = 17 \text{ mm}$; la 4^{ème} condition est vérifiée.

V.2.5. Calcul d'ancrage

Quand un réservoir n'est pas auto stable il nécessite un ancrage mécanique avec la méthode des tiges ou bien avec les attaches, comme on peut combiner les deux méthodes.



Figure V. 2: Tige d'ancrage.

V.2.5.1. Caractéristiques d'ancrage avec les tiges

Selon API 650 (E.7.1.2)

a- N^{bre} de tiges d'ancrage: Lorsqu'un ancrage mécanique est requis, au moins six (06) ancrages doivent être fournis. L'espacement entre les ancrages ne doit pas dépasser 3m.

b- Diamètre minimal des tiges d'ancrage: Le diamètre minimum de tige d'ancrage doit pas être inférieur à 25mm, plus une surépaisseur de corrosion d'au moins 6mm, donnant un diamètre minimum de 31mm.

D'après API 650 (E.6.2.1.2)

c- Contrainte admissible d'ancrage: La contrainte supportée par une seule tige ne doit être pas dépassé 80% de la limite élastique de matériau utilisé des tiges d'ancrage.

V.2.5.2. Dimensionnement des tiges d'ancrage

Calcul de la charge de soulèvement sur les tiges d'ancrage W_{AB}

D'après API 650 (E.6.2.1.2-1)

$$W_{AB} = (1,273 Mrw / D^2 - Wt (1 - 0,4.Av))$$

Tels que:

W_{AB} : Charge de soulèvement de réservoir calculée sur les ancrages par unité de longueur circonférentielle ;

- $Mrw = 143353158,7 \text{ N.m}$;

- $D = 45 \text{ m}$

- $W_t = 37081,68 \text{ N/m}$;

- $A_v = 0,13\%$.

Alors :

$$W_{AB} = (1,273 \times 143353158,7 / (45)^2 - 37081,68 (1 - 0,4 \times 0,12))$$

$$W_{AB} = 54816,05 \text{ N/m}$$

Calcul du nombre des tiges d'ancrage n_a :

$$n_a = \pi \cdot D / d_a$$

Avec : n_a : Nbre des tiges d'ancrage ;

$d_a = 0,9 \text{ m}$: Espacement entre les tiges d'ancrage :

• $D = 45 \text{ m}$;

$$n_a = \pi \cdot 45 / 0,9 = 157 \text{ ancrages}$$

$$n_a = 157 \text{ ancrages}$$

Calcul de la charge de réservoir sur un tige d'ancrage PAB:

$$P_{AB} = W_{AB} \cdot (\pi \cdot D / n_a)$$

Avec :

- P_{AB} : Charge de réservoir sur une tige d'ancrage ;

- $W_{AB} = 54816,05 \text{ N/m}$

- $D = 45 \text{ m}$;

- $n_a = 157 \text{ ancrages}$.

$$P_{AB} = 54816,05 \times (\pi \times 45 / 157) = 49334,44 \text{ N} \quad \mathbf{NP_{AB} = 49334,44 \text{ N}}$$

• Diamètre et nuance des tiges d'ancrage :

On choisit des tiges de diamètre de haute résistance **HR 10.9 (HRJ)**, de diamètre égal à **36 mm**

> Caractéristiques des tiges choisies :

- Limite élastique : $\sigma_e = 882,59$ MPA;
- Section de la tige : $S_A = 772,16$ mm².

▪ Vérification de la résistance des tiges choisies

Pour que les tiges choisies soient acceptables ils doivent satisfaire la condition suivante:

$$(P_{AB} \times 1000) / S_A < 80\% \cdot \sigma_e$$

$$(49334,44 \times 1000) / 772,16 < 80\% \times 882,59$$

$$638,91 \text{ MPA} < 706,07 \text{ MPA}$$

✓ **Condition vérifiée** : les tiges d'ancrages choisies résistent aux charges dues à une force sismique.

V.2.6. Calcul de la résistance du réservoir. Résistance à la rupture fond-robe

Selon (E.7.6) et (E.7.7) API650

Dans cette étape on étudie la résistance à la rupture entre le fond et la robe de réservoir, et on étudie également la résistance du réservoir aux forces de glissement causées par les charges de cisaillement de séisme.

V.2.6.1. Résistance à la rupture fond-robe

Pour ne pas avoir un cisaillement (rupture) au niveau du joint fond-robe, La contrainte de cisaillement au niveau de joint de soudure ne doit pas être supérieure à 80% de la limite d'élasticité minimale du métal de base F_{by} .

$$V_{max} / (A + B) < 0,8 F_{by}$$

V_{max} : force de cisaillement tangentiel par unité de longueur, N/m

$F_{by} = 290$ MPa : limite d'élasticité minimale du matériau de la tôle marginale du fond de réservoir.

$(A + B)$: la largeur du joint de soudure entre fond et robe (voir Figure 5-3C, API 650).

La force de cisaillement tangentiel par unité de longueur de joint de soudure fond-robe est donnée par l'équation suivante :

$$V_{max} = 2V / \pi D$$

V : forces de cisaillement dues au séisme, N

Les forces de cisaillement entre fond - robe de bac sont données par:

$$V = \sqrt{(V_i)^2 + (V_c)^2}$$

V_i : force de cisaillement dû au mode impulsif des composantes des poids effectifs de réservoir bac et ses contenants, N

V_c : force de cisaillement dû au mode convectif des composantes des poids effectifs de réservoir et ses contenants, N

$$V_i = A_i(W_s + W_r + W_f + W_i)$$

$$0,17(3014950+2224692,7+1137571,4+ 110894116,7)=19936126,24 \text{ N}$$

$$\mathbf{V_i=19936,1262 \text{ KN}}$$

$$V_c = A_c \cdot W_c = 0,012 \times 122686167,2 = 1472234 \text{ N}$$

$$\mathbf{V_c= 1472 ,234 \text{ KN}}$$

Tel que :

$$\mathbf{W_f=1137,5714 \text{ KN}}$$
 (poids du fond du réservoir)

Donc:

$$\mathbf{V = 19990,412 \text{ KN}}$$

$$V_{\max} = 2V / \pi \cdot D$$

$$\mathbf{V_{\max} = 282,9499 \text{ KN/m} = 28,85 \text{ kg/mm}}$$

$(A + B) = 13 \text{ mm}$: la largeur du cordon de soudure entre fond-robe

(voir Figure 5-3C, API 650).

$$F_{by} = 290 \text{ MPa} = 29,57 \text{ kg/mm}^2$$

Pour une valeur minimale $(A+B) = 13 \text{ mm}$, on aura:

$$[V_{\max} / (A + B)] = 2,21 \text{ kg/mm}^2 < 0,8 F_{by} = 23,65 \text{ kg/mm}^2$$

Le réservoir résiste aux contraintes dues aux forces de cisaillement de séisme, et il ne risque pas la rupture au niveau du joint de soudure fond-robe.

V.2.6.2. Résistance aux glissements dus aux forces de cisaillement

Pour que le réservoir soit stable (résiste aux forces du glissement) l'inéquation suivante doit être vérifiée :

$$\mathbf{V_s > V}$$

V : forces de cisaillement dues au séisme, N

V_s : force de frottement, N

Les forces de frottement V_s sont données par:

$$V_s = \mu (W_s + W_r + W_f + W_p)(1 - 0,4 A_v)$$

$$V_s = 0,35(3014950+2224692,7+1137571,4+241302022,9) (1 - 0,4 \times 0,13)$$

$$V_s = 82179970,84 \text{ N}$$

$$\mathbf{V_s= 82179,9708 \text{ KN}}$$

$$W_p = 241302022,9 \text{ N};$$

$\mu = 0,35$: Coefficient de frottement (selon API 650 la valeur ne doit dépasser 0,4) ;

$V_S = 82179970,84\text{N}$ et $V = 19990412,76\text{N}$

$\Rightarrow V_S > V$

Donc le réservoir ne résiste pas aux forces de cisaillement dues au séisme.

V.3. Conclusion

Les trois conditions sont vérifiées donc le réservoir est stable aux forces de glissement du vent et il ne nécessite pas d'encrage.

- 1) Le bac est stable au séisme ; il ne nécessite pas d'ancrage.
- 2) Le bac résiste à la rupture et au glissement dus aux forces du cisaillement causées par un éventuel séisme.

Chapitre VI

Etude de la tuyauterie

VI. Etude de la tuyauterie

VI.1. Introduction

Les fluides sont des corps sans forme propre, ils peuvent subir de grandes variations de formes sous l'action de forces et de sollicitations diverses. La mécanique des fluides étudie leurs équilibres et leurs mouvements que l'on appelle **Écoulement**.

L'hydraulique est la partie de la mécanique des fluides qui traite du comportement et du mouvement de fluide. L'hydraulique vient du grec « Hydro » qui veut dire eau, donc c'est la science de l'eau. L'étude hydraulique a comme but de définir les caractéristiques d'une station de pompage (**tuyauterie et pompes**).

VI.2. Pompe

La pompe est l'organe responsable de la transformation de l'énergie mécanique en énergie hydraulique.

Elle sert à aspirer le fluide de la source hydraulique (réservoir) et de le refouler sous pression dans des canalisations de refoulement vers l'utilisation (notre bac de stockage étudié).

VI.2.1. Différents types de pompe

Il existe deux types de pompage :

- **En aspiration**, si le fluide qu'elle pompe est situé à une altitude plus basse que la pompe elle-même,
- **En charge**, s'il est situé à une altitude plus haute.

La pompe est choisie en fonction des caractéristiques du circuit de circulation et du débit de liquide dans ce circuit. Pour traduire numériquement les caractéristiques d'un circuit, on calcule sa hauteur manométrique totale (HMT).

VI.2.2. Choix de la pompe (Dimensionnement hydraulique)

Les données nécessaires au choix de la pompe :

VI.2.2.1. Débit

Le débit qv fourni par une pompe centrifuge est le volume refoulé pendant l'unité de temps. Il s'exprime en mètres cubes par seconde (m^3/s) ou plus pratiquement en mètres cubes par heure (m^3/h).

VI.2.2.2. Hauteur manométrique

On appelle hauteur manométrique H d'une pompe, l'énergie fournie par la pompe par unité de poids du liquide qui la traverse. La Hauteur manométrique varie avec le débit et représentée par la courbe caractéristique $H = (qv)$ de la pompe considérée (donnée constructeur).

VI.2.2.3. Rendement

Le rendement η d'une pompe est le rapport de la puissance utile P (puissance hydraulique) communiquée au liquide pompé à la puissance absorbée P_a par la pompe (en bout d'abord) ou par le groupe (aux bornes du moteur). Si qv est le débit volumique du fluide, ρ sa masse volumique et H la hauteur manométrique de la pompe, la puissance P et le rendement η sont donnés par :

$$P = qv\rho gH \qquad \eta = \frac{qv\rho gH}{P_a}$$

Le rendement de la pompe varie avec le débit et passe par un maximum pour le débit nominal q autour duquel la pompe doit être utilisée et la hauteur manométrique H , au point de fonctionnement souhaité ainsi que les autres caractéristiques de la pompe sélectionnée, telles que le rendement N , la puissance absorbée P , le NPSH requis et le diamètre de rognage Dr .

VI.3. Choix du matériau constituant les canalisations

VI.3.1. Critères de sélection de la nuance d'acier

Le choix de matériau appliqué à la canalisation de transport par condensât (caractérisant ainsi le fonctionnement rentable et durable) doit premièrement présenter une structure ferritique d'une proportion de perlite en bande qui est une structure exigée pour le transport du produit brut (et aussi être en conformité avec les normes appliquées). En deuxième lieu, il doit avoir des caractéristiques physico chimiques adéquates notamment :

- Pourcentage de carbone et autre éléments.
- Dureté (résistance de la pénétration).
- Ductilité.
- Résistance à la rupture.
- Bonne résistance à la corrosion.

Les producteurs des aciers pour tubes de transport de pétrole brut ont sans cesse doublé leurs efforts pour améliorer les caractéristiques mécaniques de ces matériaux. Ils sont souvent contraints de chercher un compromis entre des propriétés antagonistes. Parmi celles – ci, on peut citer :

- La limite d'élasticité.
- La résilience, température de traction ductile fragile.
- La soudabilité.

VI.3.2. Caractérisations des aciers API

Les qualités d'acier couramment utilisées dans la construction des pipelines sont définies par deux spécifications dans l'API (*American Petroleum Institute*) et adaptées depuis 1922 par l'industrie pétrolière américaine :

- ✓ Dénommées 5L pour les qualités normales
- ✓ 5L (*), pour les qualités à haute résistance

Ces spécifications sont utilisées d'une façon générale dans le monde entier.

Tableau VI. 1: Propriétés mécaniques des aciers pour tubes selon la norme API.

Spécification API	Grade	Limite élastique (MPA)	Résistance à la Traction (MPA)
5L	A	207	331
5L	B	241	414
5L	X42	290	414
5L	X46	317	434
5L	X52	359	455
5L	X56	386	290
5L	X60	414	517
5L	X65	448	531
5L	X70	483	565

VI.3.3. Nuance du matériau choisi

Le matériau choisi (selon la norme API) est défini comme suit :

API 5L grade B

Et sa dénomination similaire :

- Selon la norme européenne EN 10208-2 L415 NB
- Selon la norme française NF A49-401 TS E 415

Tableau VI. 2: Représente Les compositions chimiques de grade B.

PSL1		Carbone (%)	Manganèse (%)	Phosphore (%)	Soufre (%)
Grade B	Sans soudure	0,28	1,20	0,03	0,03

Tableau VI. 3: Caractéristiques mécaniques pour grade B selon API 5L.

PSL1	Limite élastique		Résistance à la traction	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa
Grade B	35	241	60	414

VI.4. Données du calcul

- Nuance de l'acier du pipe : API 5L Gr B
- Débit d'entrée : $Q_E = 700 \text{ m}^3/\text{h}$ par produit
- Débit de sortie : $Q_S = 450 \text{ m}^3/\text{h}$ par produit
- Pression de service : $P = 6 \text{ bars}$

VI.5. Calcul dimensionnel de la tuyauterie (réseau de fuel)

Le but de cette option est l'optimisation de chargement. A cause de ce choix, le cas le plus optimal de diamètre et de vitesse en aspiration et en refoulement, ce dimensionnement est applicable pour le produit gasoil.

Note :

Pour calculer l'épaisseur de n'importe quelle pipe dans la tuyauterie on doit suivre les étapes suivantes :

La formule d'après l'ASME est comme suit :

$$t = P \times D / 2 (x.E \text{ ou } y.R)$$

Tels que :

t : l'épaisseur de pipe (entrée / sortie) en pouce.

P : Pression d'épreuve en Psi

D : Diamètre de pipe (entrée / sortie) en pouce

E : Limite élastique

R : Résistance à la traction

x : coefficient de E

y : coefficient de R

- **Choix de zone de coefficient :**

Puisque ont implanté ce projet à BOUMERDES (RAS DJINET) donc la zone de coefficient doit être : zone I surface (x = 0,5) (y = 0,3)

Et puisque la nuance de pipe API est de grade B donc E et R devient comme suit :

Grade B (E = 35 K) (R = 60 k) Psi

- Pression d'épreuve :

P = Pression de service 1,5 Psi

De plus :

t est incluse avec 12,5 % de tolérance et 3 mm d'épaisseur de corrosion donc l'épaisseur de pipe d'entrée réel sera comme suit :

$$t_{\text{réel}} = t + t \times 12,5/100 + 3$$

Après le calcul de cette équation si on trouve la valeur de l'épaisseur réelle moins que la valeur standard dans l'ASME N° 36.90 on prend la valeur de cette dernière comme une valeur normalisée, et d'après l'ASME N° 36.90 on a :

Tableau VI. 4: Epaisseur standard des pipes.

Diamètre extérieur du pipe (pouce)	3,9	5.2	5.5	5.7	6	6.6	7.1	8.2	9.3	9.5	9.5	9.5	9.5
La valeur standard de l'épaisseur «t» (mm)	2	21/2	3	31/2	4	5	6	8	10	12	14	16	Autre

Cette méthode se répète pour toutes les opérations qui concernent le dimensionnement des pipes en tuyauterie.

VI.6. Tuyauterie d'aspiration

- **Chargement des camions citerne et wagon citerne par pompe :**

La vitesse de sortie : 1,2 m/s à 1,5 m/s. On prend : $V_E = 1,2$ m/s

$$Q_{\text{ext}} = S_{\text{ext}} \times V_{\text{ext}}$$

$$S_{\text{ext}} = \frac{Q_{\text{ext}}}{V_{\text{ext}}} = \frac{450}{1,2 \times 3600} = 0,1042 \text{ m}^2$$

$$\text{Donc : } S_{\text{ext}} = \frac{\pi \times D_{\text{ext}}^2}{4} = 0,1042 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{ext}}^2 = \frac{S_{\text{ext}} \times 4}{\pi}$$

$$D_{\text{ext}} = 0,364 \text{ m} = 364 \text{ mm} = 14,33 \text{ pouces}$$

$$\text{D'où : le diamètre réel adopté est : } D_{\text{ext}} = 16 \text{ pouces} = 0,4064 \text{ m} = 406,4 \text{ mm}$$

$$D_{\text{int}} = D_{\text{ext}} - (2t)_{\text{réel}}$$

Tel que :

$$t = P \times D_{\text{ext}} / 2(y.R)$$

$$t = (130,5 \times 16) / 2 (0,3 \times 60 \times 10^3) = 0,058 \text{ pouce} = 1,47 \text{ mm.}$$

Donc l'épaisseur réelle de pipe d'entrée sera comme suit :

$$t_{\text{réel}} = t + t \times 16 / 100 + 3 \text{ mm}$$

$$t_{\text{réel}} = 1,47 + 0,24 + 3 \text{ mm} = 4,71 \text{ mm}$$

Mais d'après l'ASME N° 36.90 l'épaisseur standard de pipe 16 pouces est 9,5 mm et puisque on a 4,71 mm < 9,5 mm donc l'épaisseur adoptée est :

$$T_{\text{réel}} = 9,5 \text{ mm} = 0,37 \text{ pouce.}$$

AN :

$$D_{\text{int}} = D_{\text{ext}} - (2t_{\text{réel}})$$

$$D_{\text{int}} = 406,4 - 2(9,5)$$

$$D_{\text{int}} = 387,4 \text{ mm}$$

On cherche : S_{int} et $V_{\text{réel}}$

$$S_{\text{int}} = \frac{\pi \times D_{\text{int}}^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,3874)^2}{4} = 0,118 \text{ m}^2$$

$V_{\text{réel}} ?$

$$S_{\text{int}} = \frac{Q}{V_{\text{réel}}} \longrightarrow V_{\text{réel}} = \frac{Q}{S_{\text{int}}} = \frac{450}{0,118 \times 3600} = 1,06 \text{ m/s}$$

D'où :

$$V_{\text{réel}} = 1,06 \text{ m/s}$$

VI.6.1. Tuyauterie de refoulement

- Arrivée du produit

La vitesse d'entrée c'est la vitesse de refoulement : 3 m/s à 5 m/s. On prend : $V_{ext} = 3$ m/s

$$Q = S_{ext} \times V_{ext}$$

$$S_{ext} = \frac{Q}{V_{ext}} = \frac{700}{3 \times 3600} = 0,065 \text{ m}^2$$

$$\text{Donc : } S_{ext} = \frac{\pi D_{ext}^2}{4} = 0,065 \text{ m}^2$$

$$D_{ext}^2 = \frac{S_{ext} \times 4}{\pi}$$

$$D_{ext} = 0,288 \text{ m} = 11,34 \text{ pouces}$$

D'où : le diamètre réel adopté est : $D_{ext} = 12$ pouces = 0,3048 m = 304,8 mm

$$D_{int} = D_{ext} - (2t)$$

Tel que :

$$t = P \times D_{ext} / 2(y.R)$$

$t = (130,5 \times 12) / 2(0,3 \times 60 \times 10^3) = 0,044$ pouce = 1,11 mm. Donc l'épaisseur réelle de pipe d'entrée sera comme suit :

$$t_{réel} = t + t \times 12/100 + 3 \text{ mm}$$

$$t_{réel} = 1,11 + 0,13 + 3 \text{ mm} = 4,24 \text{ mm}$$

Mais d'après l'ASME N° 36.90 l'épaisseur standard de pipe 12 pouces est 9,5 mm et puisque on a 4,24 mm < 9,5 mm donc l'épaisseur adoptée est :

$$T_{réel} = 9,5 \text{ mm} = 0,37 \text{ pouce}$$

AN :

$$D_{int} = D_{ext} - (2t_{réel})$$

$$D_{int} = 304,8 - 2(9,5)$$

$$D_{int} = 285,8 \text{ mm}$$

On cherche : S_{int} et $V_{réel}$:

$$S_{int} = \frac{\pi D_{int}^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,2858)^2}{4} = 0,064 \text{ m}^2$$

$$S_{int} = \frac{Q_E}{V_{E \text{ réel}}} \longrightarrow V_{réel} = \frac{Q}{S_{int}} = \frac{700}{0,064 \times 3600} = 3,04 \text{ m/s}$$

VI.7. Formule de calcul des pertes de charge

VI.7.1. Pertes de charge de l'installation

Un fluide, en mouvement, subit des pertes d'énergie dues aux frottements sur les parois de la canalisation (pertes de charge linéaires) ou sur les "accidents" de parcours (pertes de charge singulières).

Les pertes de charges totales d'une installation sont données par :

$$\Delta H_T = \sum \Delta H_L + \sum \Delta H_s$$

Avec:

- ΔH_L : Pertes de charge linéaires.
- ΔH_s : Pertes de charge singulières.

VI.7.2. Pertes de charge linéaires

Ce genre de perte notée " ΔH_L " est causé par les frottements intérieurs qui se produisent dans les liquides le long d'une tuyauterie lisse aussi bien que dans les tuyaux rugueux.

Les pertes de charges linéaires sont définies par : $\Delta H_L = (\lambda L V^2) / 2 D g$

Avec :

- λ : Coefficient de pertes de charges linéaires déterminé selon le diagramme MOODY après le calcul du nombre de Reynolds " Re ".
- L : Longueur de la tuyauterie.
- V : Vitesse du produit.
- D : Diamètre de la tuyauterie.
- g : accélération de la pesanteur.

Le nombre de Reynolds détermine la nature du régime d'écoulement, il est donné par :

$$Re = V \times D / \vartheta.$$

ϑ : Viscosité cinématique du liquide [m^2/s].

$$Re = 0.022$$

VI.7.3. Pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulière sont observées lorsqu'un fluide subit un changement de section et/ou de direction dans une installation de tuyauterie. Les singularités en présence sont les vannes, les clapets, les bras de chargement, les bouches de déchargement camion-citerne, les raccords. Les pertes de charges singulières sont définies par :

$$\Delta H_s = k V^2 / 2 g.$$

Avec : "k" Coefficient de pertes de charges singulières.

VI.7.4. Hauteur maximale à l'aspiration de la pompe (NPSH_D)

Le NPSH_D disponible de l'installation est donné par la formule :

$$NPSH_d = [(P_0 - T_v) / \rho \times g] \pm h_{\text{géo-asp}} - \Delta H_{\text{asp}}$$

Avec :

- $h_{\text{géo-asp}}$: différence de niveau entre la surface libre du produit stocké dans la cuve et le niveau de l'axe d'aspiration de la pompe.
- ΔH_{asp} : pertes de charges totales liées au circuit d'aspiration de la pompe.
- T_v : tension de vapeur.
- P_0 : pression au niveau de la surface libre du produit stocké dans la cuve.
- ρ : masse volumique du liquide.

Le calcul sera établi en utilisant le circuit le plus défavorable lié à l'aspiration de la pompe. Il est indispensable que le NPSH_D disponible dans le système hydraulique soit plus élevé que le NPSH_r requis par la pompe. Généralement on prend une marge de sécurité supplémentaire de 0,5 m.

VI.7.5. Caractéristique de l'installation (HMT, QV)

La hauteur manométrique totale de l'installation est déterminée par l'application du théorème de BERNOULLI (basé sur l'équation de conservation d'énergie) entre un point de départ et un point d'arrivée.

VI.7.6. Perte de charge totale de la conduite de fuel

a. Calcul du coté aspiration fuel :

Δh linéaire coté aspiration :

Leurs caractéristiques sont les suivants (voir ISO FUEL N° = 1, 2, 3)

Longueur : $L = 81,964$ m

Diamètre $D = 0,3874$ m

Gravité $g = 9,81$ m/s²

Vitesse : $v = 1,06$ m/s

- Calcul du nombre de Reynold :

$$Re = \frac{vD}{\vartheta}$$

ϑ : la viscosité cinématique du fuel $\vartheta = 3 \times 10^{-6}$ m²/s. (Voir annexe abaque des viscosités)

$$Re = \frac{1,06 \times 0,3874}{3 \times 10^{-6}} = 13,688 \times 10^4$$

$Re > 3000$ donc le régime d'écoulement du fluide est turbulent.

Calcul coefficient de perte de charge λ :

$$\lambda = 0,316 \times Re^{-0,25} \qquad \lambda = 0,316 \times (13,688 \times 10^4)^{-0,25}$$

$$\lambda = 0,016$$

Déterminer la perte de charge linéaire Δh_l (1) :

On rappelle la formule permettant de calculer les pertes de charge linière suivant :

$$\Delta h_l = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$D'où \Delta h_l = 0,016 \times \frac{81,964}{0,3874} \times \frac{(1,06)^2}{2 \times 9,81} = 0,19 \text{ m.C.E}$$

$$\Delta h_l = 0,0186 \text{ bar}$$

Δh singulière coté aspiration :

On rappelle la formule permettant de calculer les pertes de charge singulière suivant :

$$\Delta h_s = \xi \frac{v^2}{2g}$$

Avec : ξ : coefficient de perte de charge singulière.

Dans le coté d'aspiration il contient (07) types de singularité :

- Déterminer ξ coefficient de perte de charge singulière :

Tableau VI. 5: Singularité coté aspiration.

Types de singularité	C	Coefficient ξ	Total
Réduction concentrique 16"/12"	1	0,2	0,2
Tés	10	0,44	4,4
Coudes arrondis 90°	2	0,39	0,78
Vanne opercule	1	0,10	0,10
Filtre pompe	1	2	2
Réduction concentrique 16"/12"	1	0,2	0,2
Clapet anti retour	1	0,39	0,39
Total $\sum \xi$			8,07

$$V = 1,06 \text{ m/s}$$

$$\sum \xi = 8,07$$

$$\Delta h_s = 8,07 \times \frac{1,06^2}{2 \times 9,81} = 0,462 \text{ m.C.E}$$

$$\Delta h_s = 0,045 \text{ bar}$$

Détermination de perte de charge totale d'aspiration fuel :

$$\Delta H_{asp} = \Delta h + \Delta h_s = 0,0186 + 0,045 = 0,0636 \text{ bar}$$

$$\Delta H_{asp} = 0,0636 \text{ bar}$$

b. Calcul du coté refoulement fuel :

Δh linéaires coté refoulement :

Leurs caractéristiques sont les suivantes (voir ISO FUEL N° = 3, 4, 5, 6)

Longueur : $L = 111,04$ m

Diamètre $D = 0,2858$ m

Gravité $g = 9,81$ m/s²

Vitesse : $v = 3,04$ m/s

- Calcul du nombre de Reynold :

$$Re = \frac{vD}{\vartheta}$$

ϑ : la viscosité cinématique du fuel $\vartheta = 3 \times 10^{-6}$ m² /s. (Voir annexe abaque des viscosités)

$$Re = \frac{3,04 \times 0,2858}{3 \times 10^{-6}} = 28,96 \times 10^4$$

$Re > 3000$ donc le régime d'écoulement du fluide est turbulent.

Calcul du coefficient de perte de charge λ :

$$\lambda = 0,316 \times Re^{-0,25} \qquad \lambda = 0,316 \times (28,96 \times 10^4)^{-0,25}$$

$$\lambda = 0,014$$

Déterminer la perte de charge linéaire Δh_l (1) :

On rappelle la formule permettant de calculer les pertes de charge linéaires suivantes :

$$\Delta h_l = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$D'où \Delta h_l = 0,014 \times \frac{111,04}{0,2858} \times \frac{3,04^2}{2 \times 9,81} = 2,56 \text{ m.C.E}$$

$$\Delta h_l = 0,251 \text{ bar}$$

 Δh singulière coté refoulement :

On rappelle la formule permettant de calculer les pertes de charge singulières suivantes :

$$\Delta h_s = \xi \frac{v^2}{2g}$$

Avec : ξ : coefficient de perte de charge singulière.

Dans le coté d'aspiration il contient (07) types de singularité :

Tableau VI. 6: Singularité coté refoulement.

Types de singularité	Nombre	Coefficient ξ	Total
Réduction concentrique 16"/12"	1	0,28	0,28
Tés	2	0,34	0,68
Coudes arrondis 90°	21	0,42	8,82
Vanne opercule	5	0,11	0,55
Filtre	1	1,8	1,8
Coudes arrondis 45°	2	0,22	0,44
Clapet anti retour	1	0,56	0,56
Total $\sum \xi$			13,13

$$V = 3,04 \text{ m/s}$$

$$\sum \xi = 13,13$$

$$\Delta h_s = 13,13 \times \frac{3,04^2}{2 \times 9,81} = 6,18 \text{ m.C.E}$$

$$\Delta h_s = 0,606 \text{ bar}$$

Perte de charge totale refoulement :

$$\Delta H_{\text{ref}} = \Delta h_l + \Delta h_s = 0,251 + 0,606 = 0,857 \text{ bar}$$

$$\Delta H_{\text{ref}} = 0,857 \text{ bar}$$

Donc le résultat final de perte de charge dans la canalisation de gasoil sera comme suite

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{\text{asp}} + \Delta H_{\text{ref}} = 0,0636 + 0,857 = 0,921 \text{ bar}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = 0,921 \text{ bar}$$

VI.8. Simulation avec Auto-pipe

La simulation est l'un des outils permettant de simuler des phénomènes réels, elle exécute sur un logiciel d'ordinateur.

Dans cette partie nous présentons des simulations sur l'écoulement du liquide (gasoil) avec le logiciel Auto-pipe.

VI.8.1. Présentation de logiciel

AUTOPIPE est un programme autonome, en utilisant la méthode des éléments finis, conçu pour l'analyse de l'ingénierie assistée par ordinateur, en particulier dans le domaine des calculs de conception des pipelines. Cela permet la mise en œuvre des objectifs fondamentaux de ce type d'analyse, c'est-à-dire, détermination de la contrainte dans les parois des tuyaux chargés, des charge des supports pour l'équipement et les fixations, ainsi que l'évaluation des états de charge complexes, y compris par exemple, la charge sismique, l'effet dynamique de la soupape de sécurité, les coups de bélier, la pulsation de pression et d'autres mesures d'état stationnaire et non stationnaire du produit véhiculé.

VI.8.2. Calcul des contraintes ou « stress »

VI.8.2.1. But du calcul de stress

Dans le but de savoir comment notre conduite réagit à partir des forces extérieures (contrainte, pression, température ...)

VI.8.2.2. Ce qu'on doit vérifier à partir de cette simulation

Dans cette simulation on vérifie les contraintes et les déplacements de notre conduite dus à :

- 1- Stress (contrainte).
- 2- La gravité (flexion).
- 3- La pression.
- 4- La température, (flexibilité ou contraction / dilatation).
- 5- Le séisme.

VI.8.2.3. Etapes pour faire la simulation

- Premièrement on modélise notre conduite
- On place les supports avec un écartement de 10 m
- Après on va faire notre simulation

VI.8.2.4. Supports

Les tuyauteries sont soumises à différentes sollicitations :

- Poids de la tuyauterie vide, dès ses accessoires et, éventuellement du liquide contenu
- Pression intérieure
- Effet du vent
- Coups de bélier, vibrations
- Effets dus à la dilatation

Ces sollicitations engendrent des déformations et des contraintes mécaniques de traction, de flexion et torsion qu'il faut contenir dans des limites acceptables.

Le type des supports qu'on a utilisés sont des supports guides ou pivot pour permettre au tuyau de se dilater dans les zones où il y a des dilatations et contraction. Dans les zones où il n'y a pas de dilatation, on utilise d'autres types de supports.

VI.8.2.5. Simulation du réseau

Les données de simulation sont :

- ✓ Produit transporté dans la tuyauterie : GASOIL.
- ✓ Densité de gasoil : 0,84.
- ✓ Température : -5°C à 50°C .
- ✓ Vitesse de vent : 160 km/h.
- ✓ Nuance d'acier de tuyauterie : API 5L grade B.
- ✓ Epaisseur de tuyauterie : $e = 9,5$ mm pour 16'' aspiration et 12'' refoulement
- ✓ Longueur de tuyauterie : 193 m.
- ✓ Pression de service : 6 bars.

- **La vue isométrique de la tuyauterie**

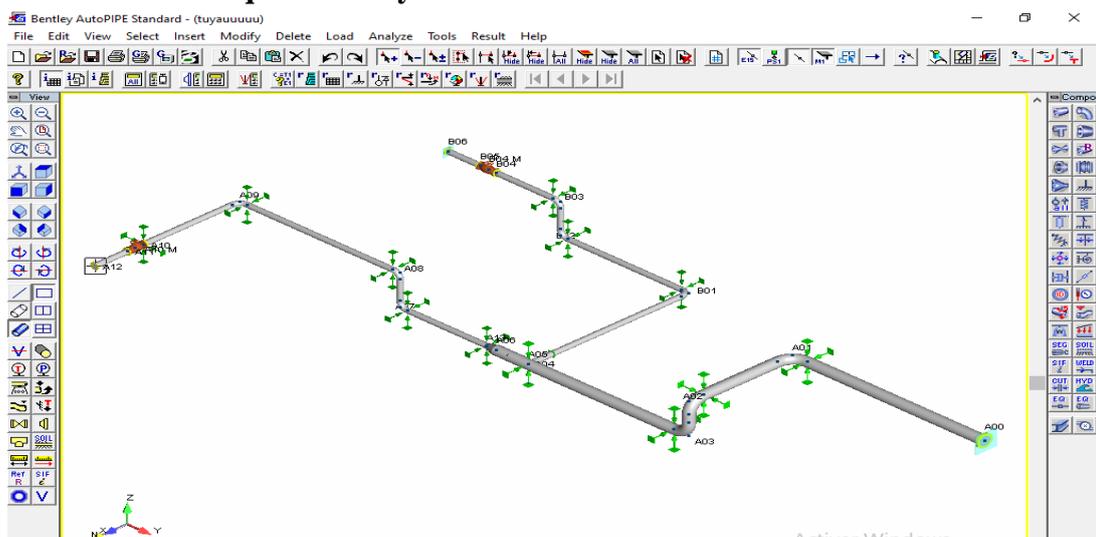


Figure VI. 1: Modélisation de l'isométrie de la tuyauterie.

• Déformation de la tuyauterie sous l'effet de gravité

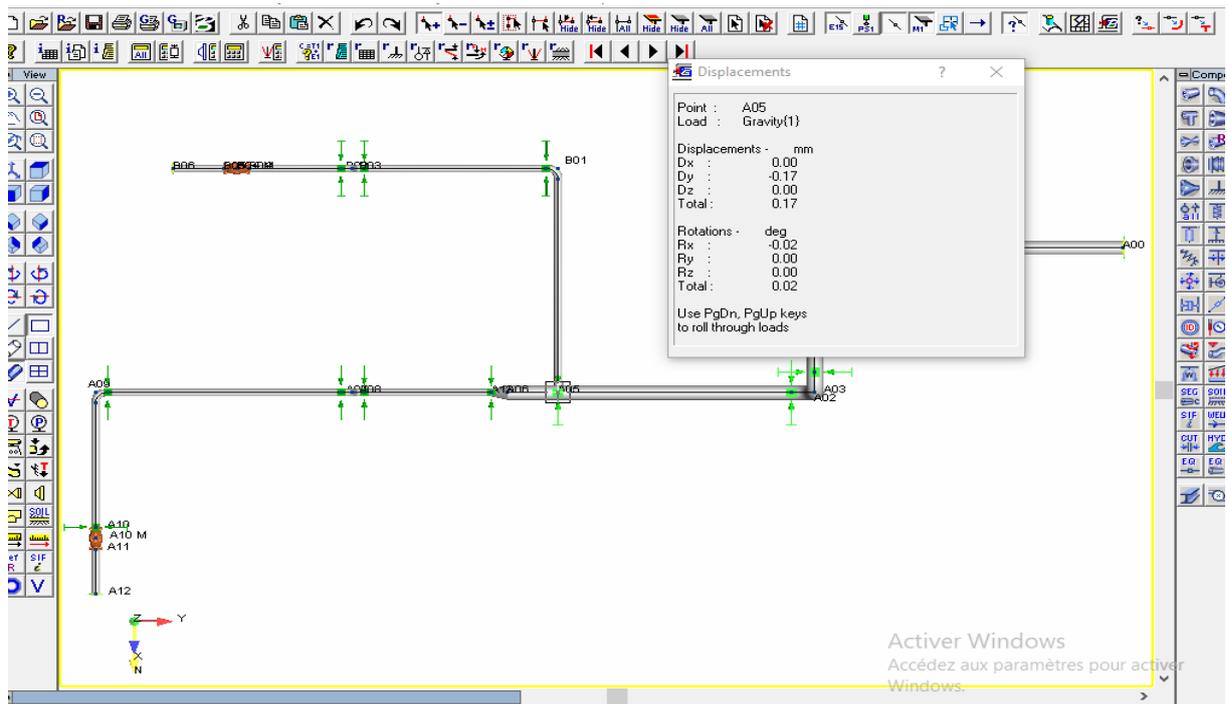


Figure VI. 2: Cartographie : cas de la gravité.

D'après la figure VI.2, on prend le cas le plus défavorable (le point A05) où il y a un déplacement. Le déplacement est suivant (l'axe X, Y, Z) $D_x = 0,00$ mm, $D_y = -0,17$ mm, $D_z = 0,17$ mm (dans les limites acceptables), la rotation égale $R_x = -0,02$ mm, $R_y = 0,00$ mm, $R_z = 0,02$ mm (dans les limites acceptables) donc on voit que la gravité est vérifiée.

• Déformation de la tuyauterie sous l'effet de stress

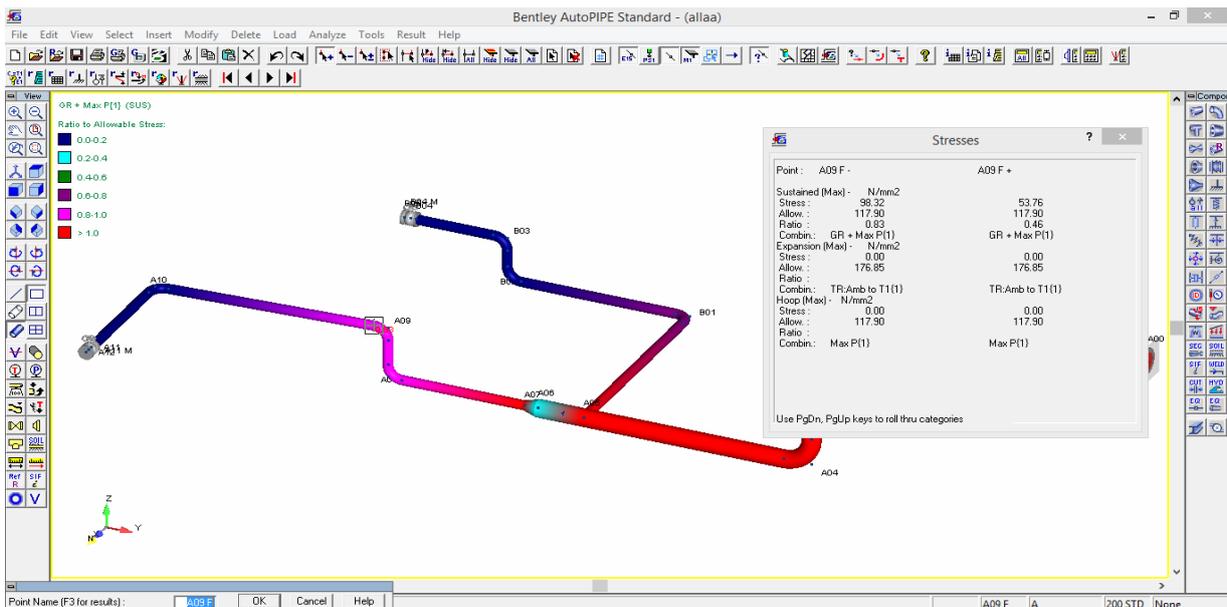


Figure VI. 3: Cartographie : cas de stress.

D'après la figure VI.3, on prend le point (A09 F) on voit que les contraintes dues à la pression (sustained stress) égale $98,32 \text{ N/mm}^2 < 117,90 \text{ N/mm}^2$ (acceptable), et les contraintes dues à la gravité (hoop stress) égale $0 < 117,90$ (acceptable) et les contraintes dues à la dilatation (expansion stress) égale $0 < 176,85$ (acceptable).

VI.9. Conclusion

Après l'analyse de la ligne de tuyauterie, on conclue que les déplacements sont tolérés et les rations sont acceptables, donc on peut dire que la ligne est stable et résistante.

Les paramètres résolus dans ce chapitre peuvent assurer une bonne transportation du fluide dans la canalisation.

Chapitre VII

Accessoires du réservoir

VII. Accessoires du réservoir

VII.1. Introduction

Pour assurer une meilleure utilisation du réservoir, il est très important d'utiliser les accessoires tels que les ouvertures de la robe, on vise les trous d'homme, tubulures et la porte de visite. Pour le fond, il y a la cuvette et sur le toit il y a les trous d'homme et les tubulures utilisées pour les essais hydrostatiques.

Et pour assurer la liberté de circulation des opérateurs sur et autour du réservoir, on utilise un escalier hélicoïdal.

VII.2. Trou d'homme sur robe

Le trou d'homme sur robe est utilisé pour effectuer des travaux à l'intérieur du réservoir, acheminer les équipements nécessaires ainsi que l'accès pour exécuter les opérations d'entretien et de nettoyage. Il est constitué d'une tôle de renforcement, d'un segment de tube, d'une bride, d'un couvercle (bride pleine) et quelques accessoires (joint d'étanchéité, boulons, écrous, rondelles, ...etc)

La fabrication des éléments du trou d'homme sera effectuée en atelier. L'assemblage du trou d'homme sur la robe sera exécuté sur chantier, par un soudage approprié.



Figure VII. 1: Trou d'homme sur robe de fond.

VII.3. Tubulures

Le réservoir sera muni d'un ensemble de tubulures recommandées par la Norme API.650.Std et d'autres tubulures exigées par le client pour satisfaire à son exploitation. Tous les éléments des tubulures seront préfabriqués.

L'assemblage des éléments de tubulures sera effectué en atelier, tandis que l'assemblage des tubulures sur le réservoir sera exécuté sur site. Les principales tubulures recommandées par la Norme API.650.Std, sont :

- 03 tubulures de remplissage avec déversoir de 16''
- 01 tubulure de sortie de liquide 34''
- 02 tubulures de vidange avec puisard de soutirage 10''



Figure VII. 2: Tubulures.

VII.4. Porte de visite

Appelé souvent « porte boulonnée » et renforcée par une tôle, elle est unique dans un bac, de dimension plus importante que le trou d'homme pour assurer l'accès des instruments et des matériels de grande taille.

VII.5. Cuvette

Avec l'utilisation fréquente du bac (remplissage et vidange), des résidus se forme sur le fond, et pour le nettoyage total de bac du ces derniers ont, doit purifier le fond à l'aide d'une cuvette de vidange qui va être aspergé vers l'extérieur de bac avec la tubulure de vidange de fond.



Figure VII. 3: Cuvette.

VII.6. Escaliers hélicoïdal

Dans notre projet, les escaliers utilisés sont de type standard selon la norme API, fabriqué en acier (A36).

VII.6.1. Recommandation d'après l'API

Toutes les pièces doivent être métalliques.

- 1- La largeur minimum des escaliers sera de 710 mm
- 2- L'angle de l'escalier avec l'horizontale (maxi) 50°.
- 3- Largeur des girons (minimum) 200 mm (le giron est défini comme la distance horizontale des nez de deux marches successives) et la hauteur de marche doivent être tels que la somme de 2 hauteurs + le giron ne doit pas être inférieure à 610 mm ou supérieur à 660 mm. La hauteur de marche doit être uniforme sur tout l'escalier.
- 4- Marches en caillebotis ou en matériau antidérapant.
- 5- La lisse supérieure doit se raccorder avec la main courante de la plateforme sans décalage, et la hauteur mesurée verticalement depuis le nez de la marche devra être de 762 à 863,6 mm.
- 6- Distance entre les boulons de lisse (maximum) mesurée le long de la pente de la lisse est de 2438,4 mm.
- 7- La structure terminée devra pouvoir supporter une charge vive concentrée de 444,82 daN et la structure de la main courante devra pouvoir supporter une charge de 89 daN appliquée dans une quelconque direction en un point quelconque de la lisse supérieure.
- 8- Les mains courantes devront régner des deux côtés des escaliers droits ainsi que des escaliers circulaires lorsque l'espace entre les robes de réservoir et le limon de l'escalier dépasse 203,2 mm.
- 9- Les escaliers à quartier tournant devront être totalement supportés par la robe du réservoir et les extrémités de limon ne devront pas toucher le sol.

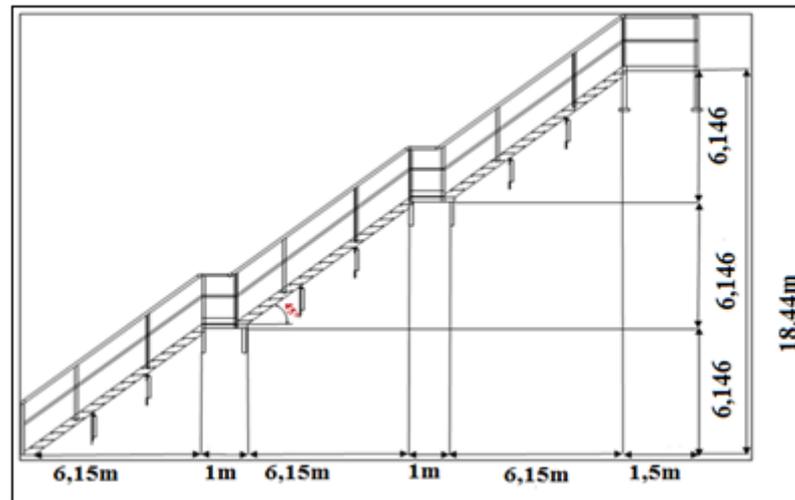


Figure VII. 4: Schéma de l'escalier hélicoïdal.

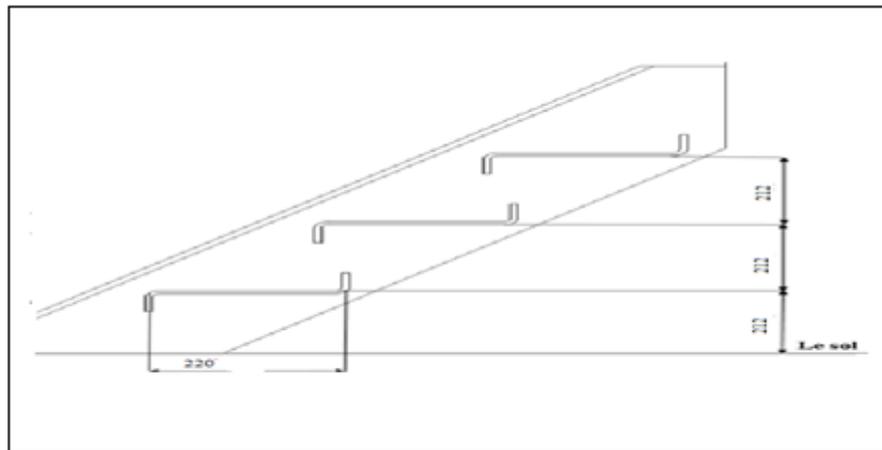


Figure VII. 5: Marche de l'escalier

VII.6.2. Etude de vent

VII.6.2.1. Rapport de dimension

$$\lambda = \frac{L_{\alpha}}{I} (1 + \cos 2\alpha) \quad 0 \leq \alpha \leq 45 \quad (\text{NV65 page 89})$$

$$\alpha = 45^{\circ}$$

h_{α} : dimension d'un versant de plus grande pente. $h_{\alpha} = 8,70 \text{ m}$

I : dimension horizontale d'un versant. $I = 6,15 \text{ m}$

$$\lambda = \frac{8,7}{6,15} \times (1 + \cos 2 \times 45) = 1,41$$

$$\gamma = 1,32 \quad (\text{NV65 page 89})$$

VII.6.2.2. Actions résultantes sur l'escalier

L'angle d'inclinaison de l'escalier $\alpha=45^\circ$

Actions résultantes sur l'escalier :

$$C = c \cdot \gamma_\alpha$$

$$\gamma_\alpha = \frac{50-\alpha}{10} \gamma + \frac{\alpha-40}{10}$$

C : coefficient de trainée (NV65 figure31 P 19)

C : 1,67 sur le bord d'attaque.

C : 0,925 sur le bord de fuite.

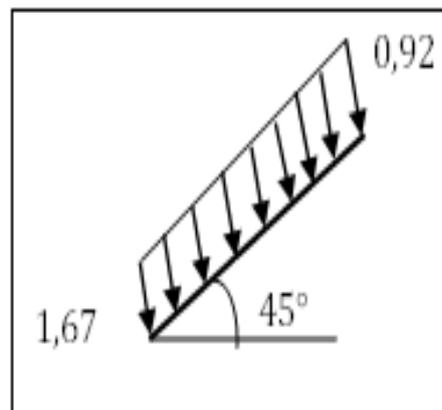


Figure VII. 6: Chargement d'un limon.

VII.6.2.3. Charge du vent

$$Q_n = q_h \cdot k_s \cdot k_m \cdot C_{max} \cdot \delta \cdot \beta$$

$$Q_n = 143,56 \times 1,35 \times 1 \times 1,46 \times 0,74 \times 1,1035 = 231,06 \text{ daN/m}^2$$

VII.6.3. Dimensionnement des escaliers hélicoïdaux

Selon : API650 tableau (5.19a) Pag 126

$$610 \leq 2R+r \leq 660$$

$$\left. \begin{array}{l} R = 212 \text{ mm} \\ r = 220 \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{dimension des contremarches} \\ \text{dimension des marches de l'escalier} \end{array}$$

$$(2 \times 212) + 220 = 644 \text{ mm}$$

La Recommandation N° 3 est vérifiée.

VII.6.4. Vérification des marches

Les marches sont réalisées à partir de tôles striées d'épaisseur 5 mm, ces dernières sont boulonnées avec le limon.

$$P = 44,3 \text{ Kg/m}^2 W_y = 22,4 \text{ mm}^3 e = 0,5 \text{ cm}$$

VII.6.4.1. Evaluation des charges

La marche est soumise aux charges et surcharges :

- Charge permanente :

$$\text{Poids de la marche : } G = C_p \times r = 44,3 \times 0,22 = 9,75 \text{ daN/m}$$

$$\text{Charge du vent : } Q_v = 231,06 \times 0,22 = 50,83 \text{ daN/m}$$

$$G_{\text{total}} = 60,58 \text{ daN/m}$$

- La surcharge d'exploitation :

$$P = 100 \times 0,8 = 80 \text{ daN/m}$$

(100kg est poids d'un ouvrier avec sa caisse à outils).

$$P = 80 \text{ daN/m}$$

- Charge non pondérée : $Q_1 = G + P = 140,58 \text{ daN/m}$
- Charge pondérée : $Q_2 = 1,35G + 1,5 P = 201,78 \text{ daN/m}$

VII.6.4.2. Vérification de La flèche

➤ vérification de la flèche

Les marches striées doivent satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5Q_1 L^4}{384EI_x} \leq \frac{L}{200} \text{ Eurocode 3 (p.156).}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} L : \text{ la longueur des cornières, } L = 0,762\text{m} \\ I_y : \text{ l'inertie des marches striées, } I = 1350 \text{ cm}^4 \end{array} \right.$$

$$W_y = 22,4 \text{ cm}^3$$

$$\text{AN : } \frac{5 \times 231,06 \cdot 10^{-3} \times 800^4}{384 \times 21000 \times 1350 \cdot 10^4} = 0,0043 \text{ mm} \leq \frac{800}{200} = 4 \text{ mm}$$

(Condition vérifiée).

VII.6.4.3. Vérification de la résistance

La condition de la résistance est la suivante :

$$M_{sd} \leq M_{Rd} \quad \dots\dots \text{Eurocode 3 (p.156).}$$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 l^2}{8} = \frac{201,78 \times 0,8^2}{8} = 16,142 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y \cdot W_y}{\gamma_0} = \frac{27,5 \cdot 2,24}{1,1} = 56 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 16,142 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 56 \text{ daN.m}$$

(Condition vérifiée).

VII.6.5. Calcul de limon

Après une succession des calculs, nous avons abouti à un profilé UPN180 qui convient comme limon.

Les caractéristiques de l'UPN 180 :

$$L=8.485\text{m.} \quad P=22\text{kg/m} \quad A=27.9 \text{ cm}^2 \quad I_y=1350\text{cm}^4 \quad W_{pl,y}=179\text{cm}^3$$

VII.6.5.1. Evaluation des charges

Une volée contient deux limons, et chaque limon doit supporter la moitié des charges et des surcharges exercées sur la volée.

- la charge permanente :

$$\text{La marche : } G = \frac{1}{2} (44.3 \cdot 0,80) = 17,72 \text{ daN/m.}$$

$$\text{Le limon (UPN180) : } G_1 = 22 \text{ daN/m.}$$

Avec :

$$\text{La longueur d'une marche : } 0,8\text{m.}$$

$$\text{La longueur totale du limon : } 8.485\text{m}$$

$$\text{Le nombre de marches} = 6,146\text{m} / 0,212\text{m} = 29 \text{ marches}$$

$$G_{\text{Total}} : G_{\text{Total}} = 39,72 \text{ daN/m.}$$

$$\text{- Surcharge d'exploitation : } P = 100 \cdot 0,80 = 80 \text{ daN/m.}$$

$$\text{- Charge non pondérée : } Q_1 = G + P = 119,72 \text{ daN/m.}$$

$$\text{- Charge pondérée : } Q_2 = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot P = 173,622 \text{ daN/m.}$$

VII.6.5.2. Vérification de la flèche

Le limon doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5Q_1 \cos\alpha \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} \leq \frac{L}{200} \text{Eurocode 3 (p.156).}$$

Avec :

α : l'angle d'inclinaison de limon, $\alpha = 45^\circ$

$$AN : \frac{5 \times 119,72 \cdot 10^{-3} \times \cos 45^\circ \times 8485^4}{384 \times 21000 \times 1350 \cdot 10^4} = 22,24 \text{ mm} \leq \frac{8485}{200} = 42,425 \text{ mm}$$

(Condition vérifiée).

VII.6.5.3. Vérification de la résistance

La condition de la résistance est la suivante :

$$M_{sd} \leq M_{rd}$$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 \cos\alpha \cdot l^2}{8} = \frac{173,622 \times \cos 45^\circ \times 8,485^2}{8} = 1104,85 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y W_y}{\gamma_0} = \frac{27,5 \cdot 179}{1,1} = 4475 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 1104,85 \text{ daN.m} \leq M_{rd} = 4475 \text{ daN.m}$$

(Condition vérifiée).

VII.6.5.4. Vérification de la compression

Pour que le limon résiste à la compression, il faut que:

$$N_{sd} \leq N_{Rd} \text{ Eurocode 3 (page 193)}$$

N_{sd} : effort de compression

N_{Rd} : effort normal de la plastification

$$N_{sd} = Q_2 \cdot \sin \alpha \cdot L = 173,622 \times 0,707 \times 8,485 = 1041,70 \text{ daN} = 10,417 \text{ KN}$$

$$N_{Rd} = A f_y / \gamma_0 = 27,90 \cdot 10^2 \cdot 235 / 1,1 = 596,04 \text{ KN}$$

$$N_{sd} = 10,417 \text{ KN} \leq N_{Rd} = 596,04 \text{ KN} \quad (\text{condition vérifiée}).$$

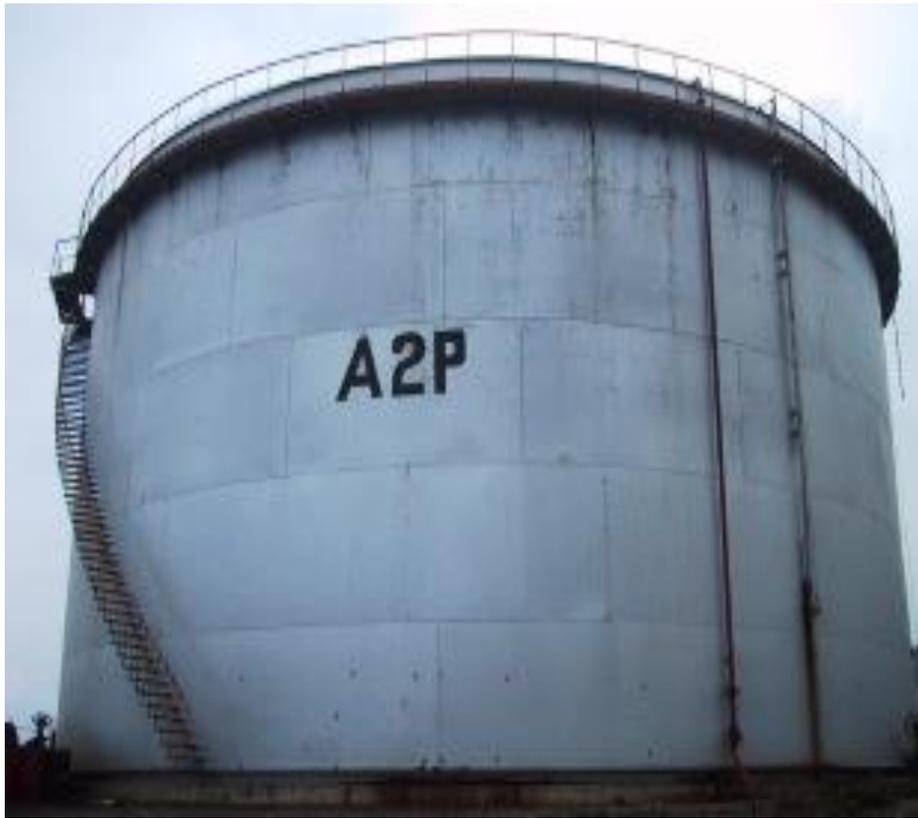


Figure VII. 7: Vue de l'escalier hélicoïdal.

VII.6.6. Calcul du palier de repos

Nous avons prévu pour le palier de repos, une tôle striée d'épaisseur 10 mm, posée sur des poutrelles UPN140, comme l'indique la figure ci-dessous :

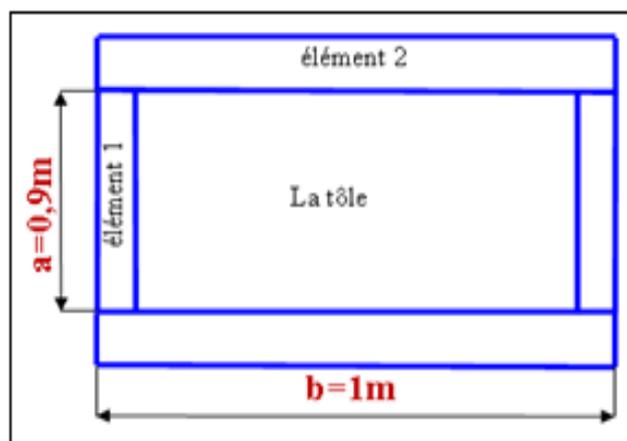


Figure VII. 8 : Palier de repos.

VII .6.6. 1. Tôle**→ Evaluation des charges**

La charge permanente :

$$G = \rho \times e = 7850 \times 0.01 = 78.5 \text{ daN/m}^2$$

La surcharge d'exploitation :

$$P = 200 \text{ daN/m}^2$$

- La charge non pondérée :

$$Q_1 = G + P = 78.5 + 200 = 278.5 \text{ daN/m}^2$$

- La charge pondérée :

$$Q_2 = 1.35 \times G + 1.5 \times P = 1.35 \times 78.5 + 1.5 \times 200 = 405,97 \text{ daN/m}^2$$

→ Vérification de la flèche

Selon aide-mémoire –RDM- (p133), on a pour une plaque rectangulaire uniformément chargée, encadrée sur 4 cotés (soudée) :

$$e = 10 \text{ mm}, \quad a = 800 \text{ mm}, \quad b = 1000 \text{ mm} \Rightarrow \quad b/a = 1,25.$$

La formule de la flèche est :

$$f = \frac{0,0277 \cdot Q_1 \cdot a^4}{E \cdot e^3} \leq \frac{a}{200}$$

Donc :

$$f = \frac{0,0277 \times 278,5 \cdot 10^{-6} \times 800^4}{21000 \cdot 10^3} = 0,150 \text{ mm} \leq \frac{800}{200} = 4 \text{ mm}$$

Condition vérifiée.

VII.6.6.2. Elément 1

UPN 140. L = 762mm:

$$I_y = 605 \text{ cm}^4 \quad W_y = 103 \text{ cm}^3 \quad P = 16 \text{ Kg/m}^2 \quad L = 0.762 \text{ m}$$

→ Evaluation des charges :

La charge permanente :

$$\text{La tôle : } G = 78.5 \times 0.8 = 62,8 \text{ daN/m.}$$

La masse du profilé (UPN140) $G_1 = 16 \text{ daN/m}$.

$$G_{\text{total}} = 62,8 + 16 = 78,8/\text{m}.$$

- La surcharge d'exploitation : $P = 200 \times 0,8 = 160 \text{ daN/m}$
- La charge non pondérée : $Q_1 = G + P = 238,8 \text{ daN/m}$.
- La charge pondérée : $Q_2 = 1,35 \times 78,8 + 1,5 \times 160 = 346,38 \text{ daN/m}$.

→ Vérification de La flèche :

Le limon doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5Q_1 \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} \leq \frac{L}{200}$$

$$\text{AN : } \frac{5 \times 238,8 \cdot 10^{-3} \times 800^4}{384 \times 21000 \times 605 \cdot 10^4} = 0,010 \text{ mm} \leq \frac{800}{200} = 4 \text{ mm}$$

(Condition vérifiée).

→ Vérification de la résistance :

La condition de la résistance est la suivante :

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 \cdot l^2}{8} = \frac{346,38 \cdot 0,8^2}{8} = 27,71 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y W_y}{\gamma_0} = \frac{23,5 \cdot 10^3}{1,1} = 2200,45 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 27,71 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 2200,45 \text{ daN.m}$$

(Condition vérifiée).

VII.6.6.3. Elément 2

UPN 140 L= 1000mm

Cette poutre des charge et surcharges du palier de repos

$$I_y = 605 \text{ cm}^4 \quad W_y = 103 \text{ cm}^3 \quad P = 16 \text{ Kg/m}^2 \quad L = 1,1 \text{ m}$$

→ Evaluation des charges :

La charge permanente :

$$\text{La tôle : } G = 78,5 \times 1 = 78,5 \text{ daN/m}.$$

La masse de profilé (UPN140) $G_1 = 16 \text{ daN/m}$.

$$G_{\text{total}} = 78,5 + 16 = 94,5 \text{ daN/m.}$$

- La surcharge d'exploitation : $P = 200 \times 1 = 200 \text{ daN/m}$
- La charge non pondérée : $Q_1 = G + P = 294,5 \text{ daN/m.}$
- La charge pondérée : $Q_2 = 1.35 \times 94,5 + 1.5 \times 200 = 427,57 \text{ daN/m.}$

→ **Vérification de La flèche :**

Le limon doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5Q_1 \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} \leq \frac{L}{200}$$

$$\text{AN : } \frac{5 \times 294,5 \cdot 10^{-2} \times 1000^4}{384 \times 21000 \times 605 \cdot 10^4} = 0,030 \text{ mm} \leq \frac{1000}{200} = 5 \text{ mm (condition vérifiée).}$$

→ **Vérification de la résistance :**

La condition de la résistance est la suivante :

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 \cdot l^2}{8} = \frac{427,57 \times 1^2}{8} = 53,45 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y W_y}{\gamma_0} = \frac{23,5 \cdot 10^3}{1,1} = 2200,45 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 53,45 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 2200,45 \text{ daN.m}$$

(Condition vérifiée).

VII.6.7. Calcul de la console

Chaque volée a deux consoles.

$L = 1 \text{ m}$ longueur de la console.

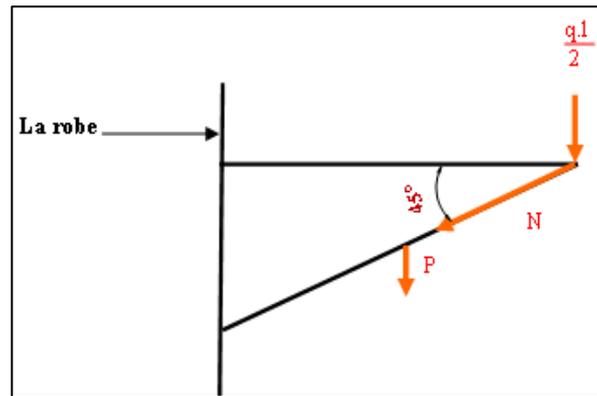


Figure VII. 9: Représentation de la console.

VII.6.7.1. Evaluation des charges

$$Q = G_{\text{marche}}/2 + e_{\text{exploitation}} = 16/2 + 200 = 208 \text{ daN}$$

$$C_{\text{console}} = \frac{Q}{\cos \alpha} = \frac{208}{\cos 45^\circ} = 294,41 \text{ daN}$$

→ Vérification

Vérification à la compression :

$$\text{Classe de section : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{h}{t} = \frac{70}{7} = 10 \leq 15 \varepsilon = 15$$

$$\frac{b+h}{2t} = \frac{70+70}{7 \times 2} = 10 \leq 11,5 \varepsilon = 11,5$$

D'où la section est de classe 1.

$$\text{Donc : } N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma \times M_o} = \frac{20,41 \times 235}{1 \times 1} = 4796,35 \text{ daN.}$$

$$N_{sd} = 273,68 \text{ daN} \leq N_{c,Rd} = 4796,35 \text{ daN.}$$

La console L70x70x7 résiste bien à la compression

→ Vérification au flambement

$$\text{On a : } N_{sd} = 294,41 \text{ daN}$$

$$\text{Ou : } X = 1 \text{ pour section 1}$$

Vérification au flambement, il faut vérifier : $N_{sd,y} \leq N_{cRd,y}$

$$N_{cRd,y} = \frac{x \times \beta_A \times f_y \times A}{\gamma M_0}$$

Tel que la résistance de calcul au flambement d'un élément doit priser que égale à :

$$N_{cRd,y} = \frac{x \times \beta_A \times f_y \times A}{\gamma M_0}$$

$$x = \frac{1}{\Phi + [\Phi^2 - \lambda^{-2}]^{1/2}} \leq 1$$

$$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\lambda - 0.2) + \lambda^{-2}]$$

Avec : α est un facteur d'imperfection

λ : est : élancement pour le mode de flambement considéré

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right) [\beta_A]^{1/2}$$

Avec: $L_y = 0,5.L = 0,5 \times 141 = 70.5 \text{ cm}$

$$\lambda = \frac{L_y (\text{flambement})}{I_y} = \frac{70,5}{1,36} = 51.83$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times \varepsilon \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times 1 = 93.9$$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{51.83}{86.76}\right) [1]^{1/2} = 0.55 > 0.2 \quad \text{il y a risque de flambement}$$

On a une cornière donc la courbe de flambement est (c).

$$\alpha = 0.49 \quad \Phi = 0.5 [1 + 0.49 (0.55 - 0.2) + 0.552] = 0.737$$

$$x = \frac{1}{0.737 + [0.737^2 - 0.552]^{1/2}} = 0.79$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0.79 \times 1 \times 9.4 \times 235 \times 10^2}{1.1} = 158646.36 \text{ daN}$$

$N_{sd,y} < N_{b,Rd,y}$; condition vérifiée donc la console résiste au flambement.

VII.7. Conclusion

On a utilisé uniquement les accessoires les plus importants et non pas ceux qui sont imposés par l'API 650 car le reste n'influe pas sur le bon fonctionnement du réservoir.

Chapitre VIII

Procédure de montage et de contrôle de bac

VIII. Procédure de montage et de contrôle de bac

VIII.1. Introduction

L'objet du présent document porte sur l'ordre de montage et de soudage, ainsi que les règles à respecter lors des travaux de montage de bac de stockage de Gasoil, pour le compte de la SPE BOUMERDES.

Le bac concerné par la présente procédure est :

- Bacs de 27000 m³, pour le stockage du Gasoil.

VIII.2. Codes – Règlements

L'exécution du bac sera en conformité avec :

- Le code API 650, dernière édition ;
- Les règlements : « ASME Section IX welding and brazing qualifications ».

VIII.3. Préparation du chantier

VIII.3.1. Réceptions des travaux de génie civil

Avant le début du montage, il est indispensable d'effectuer la réception des ouvrages de Génie Civil suivants :

- Fondation du bac ;
- Plate-forme autour du bac.

VIII.3.2. Documentations techniques

En plus du présent document, il sera tenu compte des documents suivants :

- Règles générales ou cahier des charges des travaux ;
- Plans d'exécution. ;
- Règles API 650 ;
- Code ASME Section IX ;
- Règles de la ARH.

Un journal de soudage sera rédigé en nombre d'exemplaire convenu, chaque jour à la fin du travail, il doit être signé par le représentant de l'entrepreneur et sera remis à la signature du superviseur. Un exemplaire de ce journal est retenu par le superviseur.

VIII.3.3. Procédé de soudage

L'entrepreneur est tenu de respecter la procédure de soudage pour chaque type de soudure, conformément aux règles ASME section IX.

Ces procédures sont faites en conformité à ce document et toutes spécifications émanant de l'INGENEERING.

VIII.4. Qualifications des procédés de soudage

Avant de commencer les travaux de soudage, il sera procédé à la qualification de tous les procédés de soudage conformément aux règles ASME section IX.

Il faut tenir compte notamment des variables ayant l'influence au changement du procédé de soudage et qui exigent de nouvelles qualifications, chaque qualification devra être enregistrée, prescrite, essayée et estimée aux formulaires correspondants WPS et PQR.

L'exécution du soudage aux fins de la qualification du procédé, de l'essai des éprouvettes ainsi que le rapport des résultats des essais devra être effectuée en présence du représentant de l'établissement autorisé, de l'ARH et du client.

VIII.5. Qualifications des soudures

- Tous les soudeurs qui devront exécuter les travaux de soudage passeront l'examen de qualification, avant le début de soudage, suivant les règles ASME section IX.
- Les certificats sont à remettre avant le journal de soudage au superviseur.
- La qualification doit être effectuée sur le même matériau de base prévu pour le bac en accord avec le procédé de soudage.
- Le certificat de chaque soudeur et machine de soudage automatique ne devra pas être daté de plus d'un an.
- Chaque soudeur devra posséder son poinçon avec un repère d'identification différent à celui des autres soudeurs.

VIII.6. Montage du fond

VIII.6.1. Repérage

Avant le début du montage d'un fond, il faut repérer les axes principaux des éléments suivants :

- Fondation, soit de la surface bétonnée dans la direction nord sud ;
- Fond de bac ;
- La paroi avec les tubulures ;
- Toit ;
- Toutes les pièces du bac sont repérées conformément aux plans d'exécution ou à la nomenclature d'expédition de l'usine du fournisseur.

VIII.6.2. Protection anticorrosive du fond

- Toutes les tôles après repérage découpage et préparation des chanfreins, et avant d'être posées sur les fondations, seront renversées et protégées d'une couche anticorrosion avec une matière bitumineuse du coté inférieur ; tout en prenant en considération de ne pas toucher les périphériques des tôles pour ne pas altérer les joints de soudure par recouvrement des tôles du fond pendant l'opération du soudage.
- Les bouts de tôle se recouvrant devront être propres et secs. On ne doit pas retourner et assembler les tôles avant que le superviseur ne contrôle la protection anticorrosive.

VIII.6.3. Montage du fond

L'assemblage des tôles du fond devra être réalisé conformément aux plans en tenant compte de la réalisation du recouvrement ainsi que les bordures des longitudinaux soudées bout à bout.

VIII.6.4. Pointage du fond

Le pointage des tôles du fond est à effectuer par le procédé de soudage à l'arc manuel avec les électrodes suivant la qualification AWS 5.1 de qualité E 7018.

L'ordre de pointage des tôles du fond sera comme suit :

- Pour les bacs dont le fond est doté de tôles marginales :

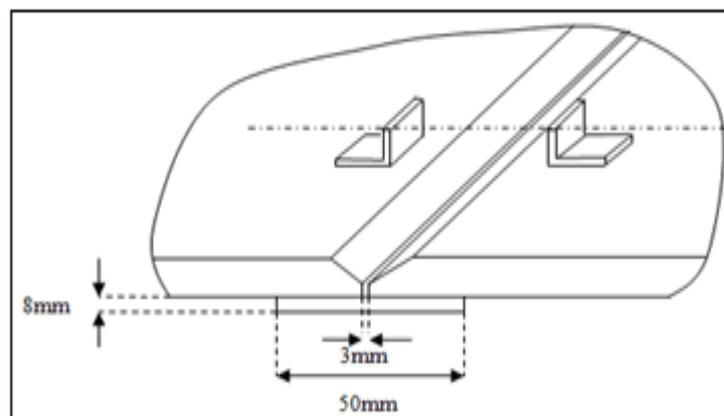


Figure VIII. 1: Soudage tôle marginale.

- Pointer et souder les tôles marginales ;
- Pointer deux tôles centrales adjacentes à leur largeur ;
- Le pointage des tôles dans le sens longitudinal ne sera effectué qu'après le soudage des points transversaux ;

- La longueur d'un pointage individuel est de : 40 à 50 mm et l'entraxe entre deux pointage est de : 300 mm.
- Pour les bacs dont le fond est doté de tôles marginales
 - Pointer les tôles transversales ;
 - Le pointage des tôles dans le sens longitudinal ne sera pas effectué qu'après le soudage des points transversaux ;
 - La longueur d'un pointage individuel est de 40 à 50 mm et l'entraxe entre deux pointages est de : 300 mm.

VIII.6.5. Soudage du fond

- Le soudage du fond du bac doit être effectué par le procédé de soudage à l'arc manuel ;
- Avant le début du soudage, les chanfreins doivent être nettoyés de toutes les impuretés (graisses, humidité, corrosion, poussière ...etc) ;
- La largeur de la zone devant être nettoyé est au minimum de 30 mm de chaque côté de la soudure ;
- Il faut commencer par souder d'abord les transversales c'est-à-dire celles se raccordant sur les largeurs des tôles ;
- Après cela on effectue les soudures longitudinales à partir du centre vers la périphérie du fond ;
- L'ordre du montage du fond du bac doit être en tenant compte que les soudures ne seront effectuées que lorsque les deux premières viroles du bac sont soudées ;
- Les écarts éventuels relatifs aux paramètres donnés ne sont admis qu'après l'approbation du superviseur.

VIII.7. Montage de la robe

VIII.7.1. Préparation des tôles

- Les bords des tôles de la paroi doivent être nettoyés, avant le début du montage de toutes les impuretés jusqu'à l'obtention de l'éclat métallique ;
- Les dimensions des chanfreins doivent rester dans les tolérances prescrites.

VIII.7.2. Montage des viroles

Des précautions doivent être prises pour le stockage et le transport des tôles pour éviter toute détérioration. Pour poser et assembler correctement les tôles, avec un entraxe prescrit, il faut utiliser des moyens adéquats tels que plats, ronds, réglette etc...

Les jeux de joints de soudage figurant sur le monde préparatoire de soudage doivent être scrupuleusement respectés.

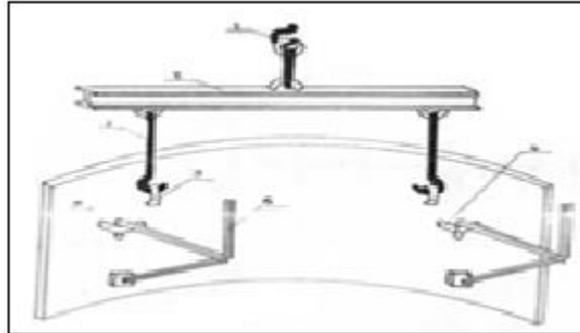


Figure VIII. 2: Montage d'une virole.

VIII.7.3. Pointage et soudage de la 1^{ère} virole

Le pointage des tôles de la 1^{ère} virole ne sera exécuté que sur les joints verticaux et qu'après le contrôle préliminaire de la verticalité avec $\pm 1/200$ de tolérance et de la rotondité à partir de 0.3m au-dessous de l'angle fond-robe.

Il ne sera admis aucun pointage de la tôle de la première virole avec le fond du bac.

Tous les pointages sont à effectuer, par le procédé de soudage à l'arc manuel avec électrode basique enrobée d'un diamètre de 3.25mm.

La longueur du pointage sera de 40 à 50 mm et l'entraxe entre deux pointages sera de 500 mm environ. Le soudage vertical est à exécuter par le procédé à l'arc manuel dans la position verticale montante.

Un contrôle préliminaire de la rotondité et de la verticalité de la virole se fera au cours de réglage. On réalise d'abord le soudage sur la face extérieure puis on effectue le meulage à l'envers sur la face intérieure du bac (pour les cordons de soudure en Y.)

VIII.7.4. Pointage et soudage de la 2^{ème} virole

- Le pointage des tôles de la 2^{ème} virole doit être effectué d'abord sur les joints verticaux ;
- Le pointage sur le joint horizontal, entre la première et la deuxième virole ne doit être effectué qu'après le soudage définitif des soudages verticaux de la deuxième virole ;
- Comme pour la première virole, les pointages sont à faire sur la face externe du réservoir ;
- Les soudures verticales de la deuxième virole, doivent être effectuées de la même manière que la première virole ;
- Le sens du soudage sera montant. Le soudage est à effectuer de la même manière que la première virole.

VIII.7.5. Pointage et soudage des joints entre la première et la deuxième Virole

- Le pointage ne sera exécuté qu'à la fin du soudage de tous les joints verticaux de la première et de la deuxième virole ;
- Le pointage doit toujours être effectué sur la face extérieure ;
- Le soudage est à effectuer par le procédé à l'arc manuel et réaliser par deux, quatre ou huit soudeurs exécutant la première passe, puis les autres passes ;
- Après cela, on effectue le meulage sur la face interne et la reprendre.

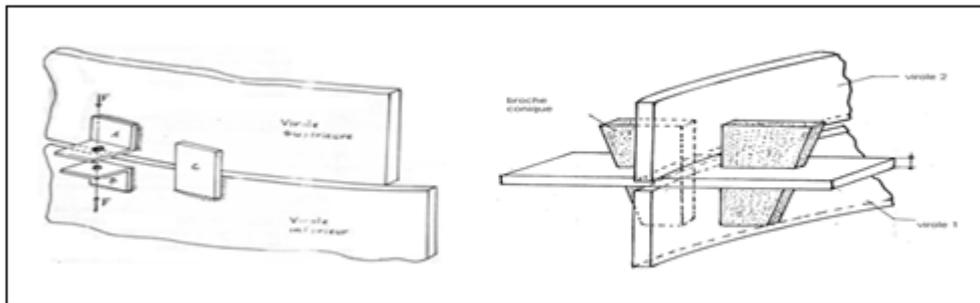


Figure VIII. 3: Montage virole.

VIII.7.6. Soudage du fond et de la première virole

Ce soudage ne peut commencer qu'après le soudage complet de la première et deuxième virole du bac.

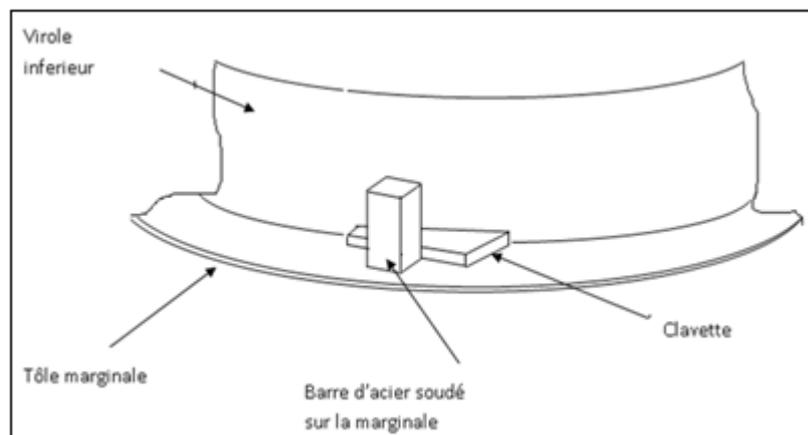


Figure VIII. 4: Soudage du fond et de la première virole.

VIII.7.7. Exécution de la troisième Virole

- Les tôles préparées de la troisième virole doivent être montées correctement sur la deuxième virole en respectant les plans d'exécution ;
- Le pointage et le soudage des joints verticaux et des joints horizontaux entre la troisième et la deuxième virole, doivent être exécutés comme pour la première et la deuxième virole ;

- On lance le soudage intérieur de la V1 et de la corniche C1, un contrôle préliminaire de la verticalité de la V3, et définitif de la V1 seront entamés avant le pointage de la C2 ;
- Le contrôle définitif de la rotondité ne sera effectué qu'après la fin de soudage des viroles et des plaques du fond. Cela se fait horizontalement à 300mm au-dessus du pied de robe.

VIII.7.8. Exécution des autres Viroles

- Le pointage est identique aux viroles inférieures sauf qu'il doit se faire à l'intérieur ;
- Les soudures verticales sont identiques aux viroles inférieure, par contre, pour les soudures circulaires entre les viroles, la première passe se fait d'abord à l'intérieur à l'arc manuel et après à l'extérieur, suivant le procédé à l'arc manuel.

VIII.7.9. Montage et soudage de la cornière de rive

- La cornière de rive doit avoir le cintrage correspondant et un chanfrein comme indiqué sur les plans ;
- Le procédé retenu est le soudage manuel ;
- On soude d'abord les éléments du profilé entre eux ensuite avec la dernière virole ;
- Une vérification de la rotondité du bac est jugée utile après la pose de cornière de rive.

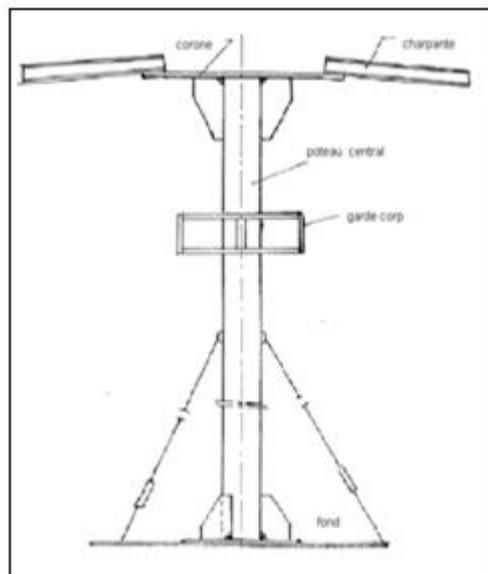


Figure VIII. 5: Montage et soudage de la Cornière de rive.

VIII.7.10. Fixation des tôles lors du montage

Au cours du montage et du soudage des tôles du bac, un dispositif de fixation de celle-ci avec des câbles doit être prévu pour éviter tout risque de détérioration par le vent.

VIII.7.11. Montage des escaliers des bacs

- Traçage des axes ;
- On commence par le traçage le point de départ et le point d'arrivée des escaliers, ainsi que la position des paliers et la trajectoire des marches entre les paliers ;
- Montage et fixation des paliers ;
- La fixation des supports palier avec la robe (soudage avec la robe) en premier lieu nous a permettre d'installer les paliers sur les supports ;
- Montage des marches ;
- Le montage des marches ce fait sur la longueur des lames (boulonnées) ;
- Montage garde-corps ;
- On termine le montage par le soudage des garde-corps sur la longueur des escaliers (palier, marches).

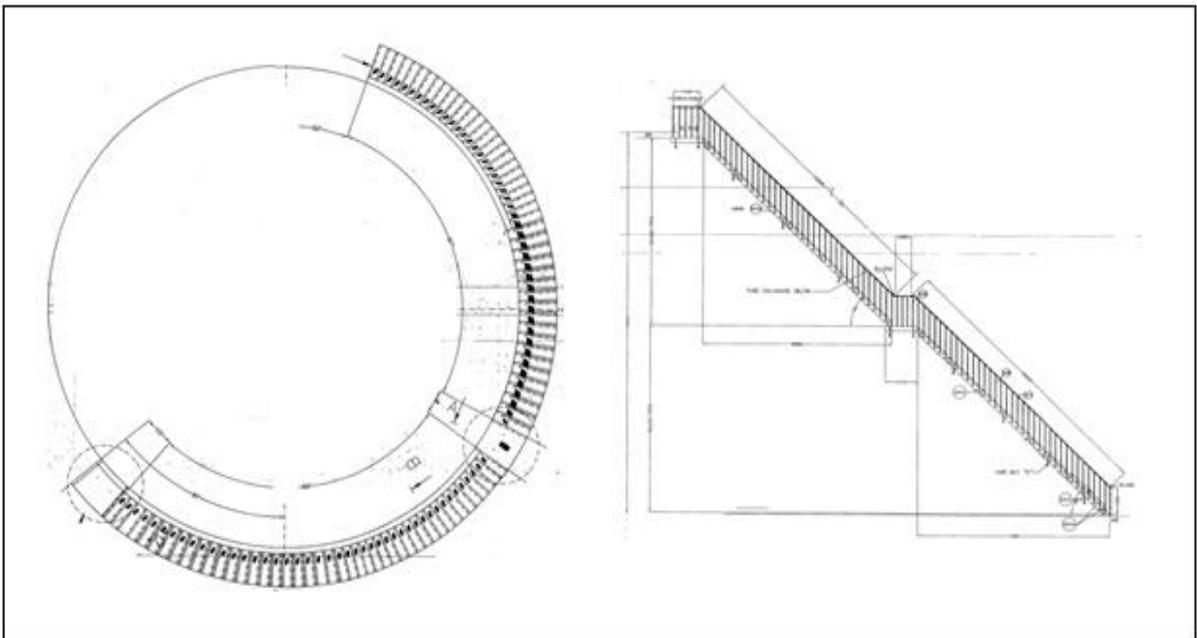


Figure VIII. 6: Montage des escaliers des bacs.

VIII.8. Montage du toit fixe

VIII.8.1. Montage de la charpente du toit

Le montage du toit doit être exécuté de manière à ce que la charpente du toit repose sur la robe du réservoir.

VIII.8.2. Montage et soudage des tôles du toit

Le pointage des tôles du toit, commence à partir du milieu vers l'extrémité du bac.

Le procédé retenu est l'arc manuel avec l'électrode d'E7018 (basique), il faut d'abord commencer par le pointage des soudures transversales. La longueur du pointage est d'environ 50 mm avec un espacement d'environ 300 mm.

Il faut nettoyer les abords sur une longueur de 30mm au minimum des deux côtés du joint.

Le pointage et soudage des joints longitudinaux doit être effectué après les soudures transversales.

Le soudage complet doit s'effectuer du centre vers la périphérie.

A la fin, on procède à la soudure sur la cornière de rive, celui-ci doit se faire simultanément par quatre soudeurs.

VIII.8.3. Accessoire divers

Les accessoires divers tels que :

- Mise à la terre sur robe ;
- Support plaque de firme ;
- Support pour système de refroidissement et mousse ;
- Témoins de tassement.

N'entraînent pas de commentaire particulier, leur montage est entrepris après l'achèvement de la zone de leur emplacement, leur position est définie sur les plans.

L'assemblage des tôles du fond devra être réalisé conformément aux plans en tenant compte de la réalisation de recouvrement ainsi que les bordures des longitudinaux soudées bout à bout.

VIII.9. Contrôle et essai

VIII.9.1. Organisation de contrôle

Le contrôle des travaux de soudage doit être organisé de façon à pouvoir suivre en permanence la qualité de toutes les opérations, à partir des opérations de montage jusqu'aux essais et la mise à disposition du bac au client.

Le contrôle du soudage doit être effectué par des personnes qualifiées de l'entrepreneur et du superviseur.

VIII.9.2. Contrôle visuel et dimensionnel

Le contrôle doit être fait sur la présentation des chanfreins, les dimensions des joints de l'aspect des soudures, des dimensions de celle-ci ect... Les tolérances admises de tous les jeux et joints doivent être en accord avec API 650 et ASME section IX.

VIII.9.3. Contrôle des matériaux de base

Tous les matériaux de base devront être utilisés pour l'exécution du bac doivent être vérifiés par examen des certificats de conformité des matières.

VIII.9.4. Contrôle des matériaux d'apport

Le matériau d'apport utilisé pour l'exécution du soudage doit être convenablement emmagasiné et chaque livraison sera accompagnée du document correspondant.

Les électrodes doivent être séchées dans une étuve à une température de 250° pendant six (6) heures.

VIII.9.5. Contrôle radiographique

Les soudures bout à bout des bacs doivent subir un contrôle radiographique en accord avec API 650 et l'ASME section IX.

Le schéma de positionnement des clichés doit être vérifié par le superviseur.

VIII.9.6. Contrôle sous vide

Le fond du bac et le toit doivent être testé à la dépression conformément au code API 650.

VIII.9.7. Épreuve hydraulique

Elle est à réaliser conformément au code API 650 et à la procédure de test hydraulique du bac, et ce à la fin des travaux de montage et avant la peinture du bac.

VIII.9.8. Autres contrôles

Les contrôles cités ne pouvant pas être réalisés, on effectue un contrôle par ressuage au gazoil chaud.

Tous les renforts des piquages doivent être testés à l'air sous pression de 2.5 bars.

VIII.9.8.1. Préparation

Après achèvement partiel ou total, les bacs seront parfaitement nettoyés, toutes les pattes et oreille soudées ayant servi au montage seront soigneusement éliminées, et tous les orifices sont utilisés pour les essais seront obturés par des tampons dont la fourniture est à la charge du constructeur.

Le constructeur aura également à sa charge tout le matériel nécessaire aux essais y compris les appareils de contrôle et de sécurité, notamment pour les cas de dépassements accidentels, dans les différentes épreuves d'essais.

VIII.9.8.2. Inspection dimensionnelle

VIII.9.8.2.1. Réception de la fondation

Lors de la réception des fondations des bacs, le constructeur effectuera le contrôle des dimensions actuelles par référence aux rapports d'inspections des fondations.

VIII.9.8.2.2. Repère de position

Avant l'étalage ou montage préliminaire des plaques de fond, des plaques de viroles et des plaques de toit (ponton), le constructeur vérifiera les repères de position en conformité avec les plans d'orientation concernés.

De même avant la réalisation des ouvertures de tubulures ou de trous d'homme, le repérage de positionnement pour ces ouvertures sera soumis à la vérification.

VIII.9.8.2.3. Précision pour l'ajustement

Avant le soudage, la préparation de la soudure et la précision dimensionnelle seront soumises à la vérification.

Les joints de soudés bout à bout des tôles de virole apparaîtront de façon précise et y seront retenus durant les opérations de soudage.

Le désalignement entre les tôles de virole assemblées par soudage bout à bout devra entrer dans les tolérances suivantes :

- **Assemblage verticaux des plaques de virole**

Pour deux viroles à souder bout à bout un joint vertical et dont l'épaisseur est supérieure à 16mm, la saillie d'une virole par rapport à l'autre ne doit pas dépasser 10% de l'épaisseur de la tôle sous réserve d'une saillie maximale de 3mm. Et pour les viroles avec une épaisseur inférieure ou égale 16mm ; la saillie d'une virole par rapport à l'autre ne doit pas dépasser 1.5mm.

- **Assemblages horizontaux des plaques de virole**

Pour deux viroles à souder bout à bout avec un joint horizontal et dont l'épaisseur de la plus mince est supérieure ou égale à 8mm, la tôle supérieure ne doit saillir plus 20% de son épaisseur par rapport à la face latérale de sa tôle inférieure sous réserve d'une saillie maximale de 3mm. Et pour deux viroles dont la plus mince a une épaisseur inférieure à 8mm ; la tôle supérieure ne doit pas saillir plus de 1.5mm par rapport à la face latérale de sa tôle inférieure.

La position radiale, l'élévation et la projection de la tubulure ou du trou d'homme sur la robe devront rentrer dans les tolérances indiquées dans le **Tableau VIII.1** ci-dessous :

Tableau VIII. 1: Tolérances dimensionnelles pour les tubulures ou les trous d'homme sur la robe.

ITEM	DIMENSIONS	TOLERANCES
TUBULURE SUR ROBE	Longueur de la tubulure(entre face de la bride et bout à bout de tube)	+5 mm -5 mm
	Inclinaison de la bride de tubulure ; calculée sur le diamètre extérieur de la bride.	+3 mm -3 mm
	Orientation pour les trous des tiges des brides.	+3 mm -3 mm
TROU D'HOMME SUR ROBE	Longueur de l'enveloppe de trou d'homme (entre face de la bride et bout à bout)	+13 mm -13 mm
	Déplacement horizontal ou vertical de trous d'homme.	+13 mm -13 mm
	Inclinaison de la bride de trou d'homme ; calculée sur le diamètre extérieur de la bride.	+13 mm -13 mm

VIII.9.8.2.4. Rotondité

Une fois terminé le soudage des plaques de virole et des plaques de fond, le rayon interne du bac sera mesuré horizontalement à 300mm au-dessus du soudage d'angle du fond, Selon API 650, paragraphe 7.5.3 édition 2013

VIII.9.8.2.5. Verticalité

La verticalité sera vérifiée après l'achèvement de tout soudage des plaques de virole, un écart vertical devra rentrer dans une valeur maximale égale à H/200 de la hauteur totale du bac. Selon API 650, paragraphe 7.5.2 édition 2013.

VIII.9.8.2.6. Déviation locale

Le contrôle sera également effectué pour vérifier s'il y a présence ou non d'une quelconque déviation locale (au niveau des joints de soudure) après l'achèvement du soudage des plaques de viroles, pour cela un gabarit de 900mm de long sera utilisé et toute déviation éventuelle devra rentrer dans une tolérance de 13mm selon API 650, paragraphe 7.5.4 édition 2013.

VIII.9.8.2.7. Essai et inspection des tôles de renfort

Après achèvement du soudage des tôles de renfort, et avant remplissage du réservoir avec l'eau d'essai, les renforts seront soumis à l'essai en appliquant une pression pneumatique de 01 bar de 2 à 3 minutes entre la robe du réservoir et la tôle de renfort ainsi que le toit et la tôle de renfort sur chaque ouverture, en utilisant le trou de témoin spécifié API 650 paragraphe 7.3.4 édition 2013.

Pendant la mise en pression de chaque espace, de l'eau de savon, de l'huile de lin ou autre matière appropriée pour la détection de fuite devra être appliquée à toutes soudures de fixation autour de renfort, tant à l'intérieur que à l'extérieur du réservoir.

VIII.10. Dossier qualité du bac de stockage

Ce dossier comporte tous les contrôles effectués au cours de processus de montage d'un réservoir (du début à la fin du montage) :

1. PV DE RECEPTION CONFORMITE DU GENIE CIVIL
2. PV DE CONTROLE RADIOGRAPHIQUE DES JOINTS MARGINAUX
3. PV DE CONTROLE DE LA DEVIATION DE LA 1^{ère}, 3^{ème}, 5^{ème} et 7^{ème} VIROLE
4. PV DE CONTROLE DE LA DEVIATION LOCALE
5. PV DE CONTROLE DE LA ROTONDITE DE LA 1^{ère} VIROLE
6. PV DE CONTROLE D'ETANCHEITE DE SOUDAGE DU PIED DE ROBE
7. PV DE CONTROLE SOUS VIDE (VENTOUSE)
8. PV DE CONTROLE D'ETANCHEITE DES PLAQUES DE RENFORT DES TUBULURES
9. PV DE CONTROLE VISUEL DE LA ROBE, FOND ET TOIT
10. PV DE CONTRÔLE D'ÉTANCHÉITÉ DES TÔLES DU TOIT
11. PV DES ESSAIS HYDROSTATIQUES DU BAC
12. PV DE NETTOYAGE DU BAC
13. PV D'ACHÈVEMENT MÉCANIQUE

[Documentation de l'entreprise]

VIII.11. Conclusion

On constate que la fabrication se base sur les calculs théoriques toute en tenant en compte du volet pratique, cependant le montage dépend de l'environnement du chantier qui comprend les qualifications des ouvriers et les contrôleurs.

Chapitre IX

Essais et Protection

IX. Essais et Protection

IX.1. Introduction

Après avoir construit notre réservoir, il serait judicieux de faire des essais afin de s'assurer de la résistance du montage métallique. Et comme mesure de protection, plusieurs dispositifs sont à préconiser à savoir ; la peinture, système de refroidissement, système d'extinction de feu.....etc.

IX.2. Essais

IX.2.1. Généralités sur les essais

La présente spécification a pour objet de fixer les conditions d'essais des réservoirs à toit fixe. Cette procédure ne se substitue pas, mais se complète aux dispositions prévues par les normes en vigueur dans le domaine des hydrocarbures.

Les essais, en vue de procéder à la réception provisoire d'un bac, comprennent :

- Essai d'étanchéité sous vide du fond et toit ;
- Essai pneumatique des plaques de renfort de tubulures et trous d'homme ;
- Essai d'étanchéité à la chaux + gas-oil du pied de robe ;
- Essai hydrostatique du réservoir.

Les essais et contrôles sont faits et dirigés par le constructeur bénéficiaire de la réalisation du projet. Ils sont exécutés en présence du maître de l'œuvre assisté ou remplacé éventuellement par une société de contrôle mandatée par celui-ci.

Les essais sont entièrement à la charge du constructeur y compris le personnel et matériel nécessaire à la bonne exécution de ces travaux.

Le maître de l'œuvre désignera un point d'eau le plus près possibles du chantier et devra prévoir une canalisation d'évacuation.

IX.2.2. Essai sous vide

Cet essai est réalisé, conformément au code API 650, en vue de contrôler l'étanchéité des soudures du fond et toit du bac.

Il s'effectue à l'aide d'une boîte sou vide (ventouse). Les soudures à contrôler sont enduites d'eau savonneuse ; on place la ventouse de telle façon que son axe s'y trouve au milieu du joint de soudure à contrôler.

On ouvre la vanne d'amenée d'air comprimé dans cette boîte sous vide à une pression de 400 mm Hg. Si aucune bulle n'apparaît à l'intérieur de cette dernière, après quelques

secondes, la soudure est jugée satisfaisante. On déplace la ventouse à la position suivante de contrôle jusqu'à ce que toutes les soudures du fond et toit soient contrôlées.

La moindre fuite décelée est inacceptable donc à réparer.

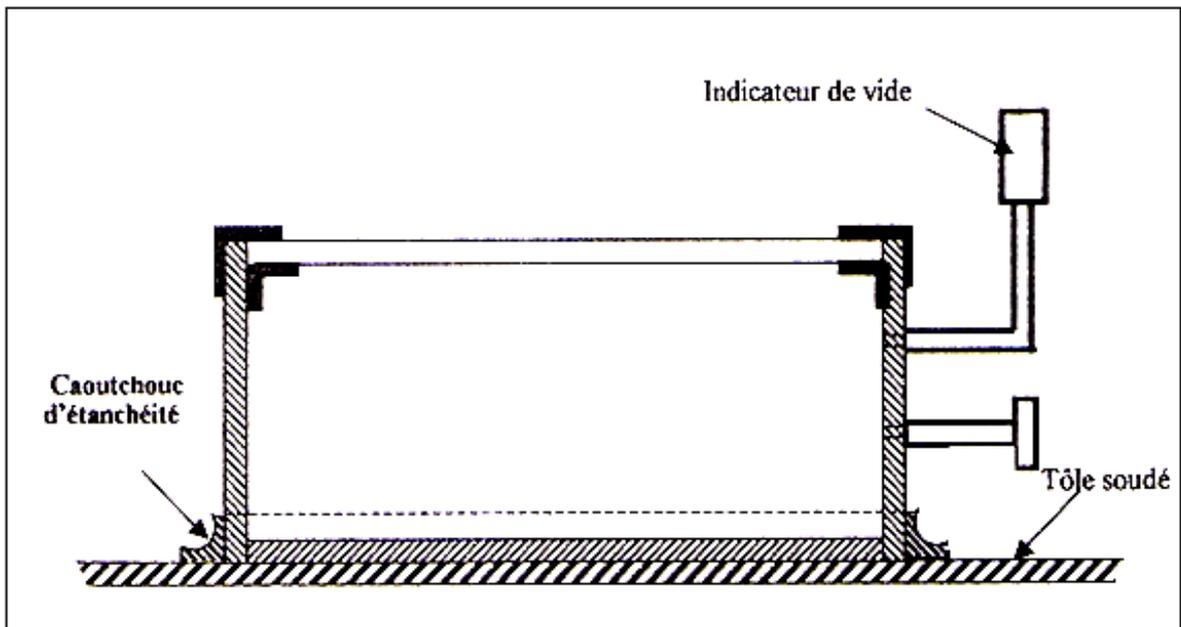
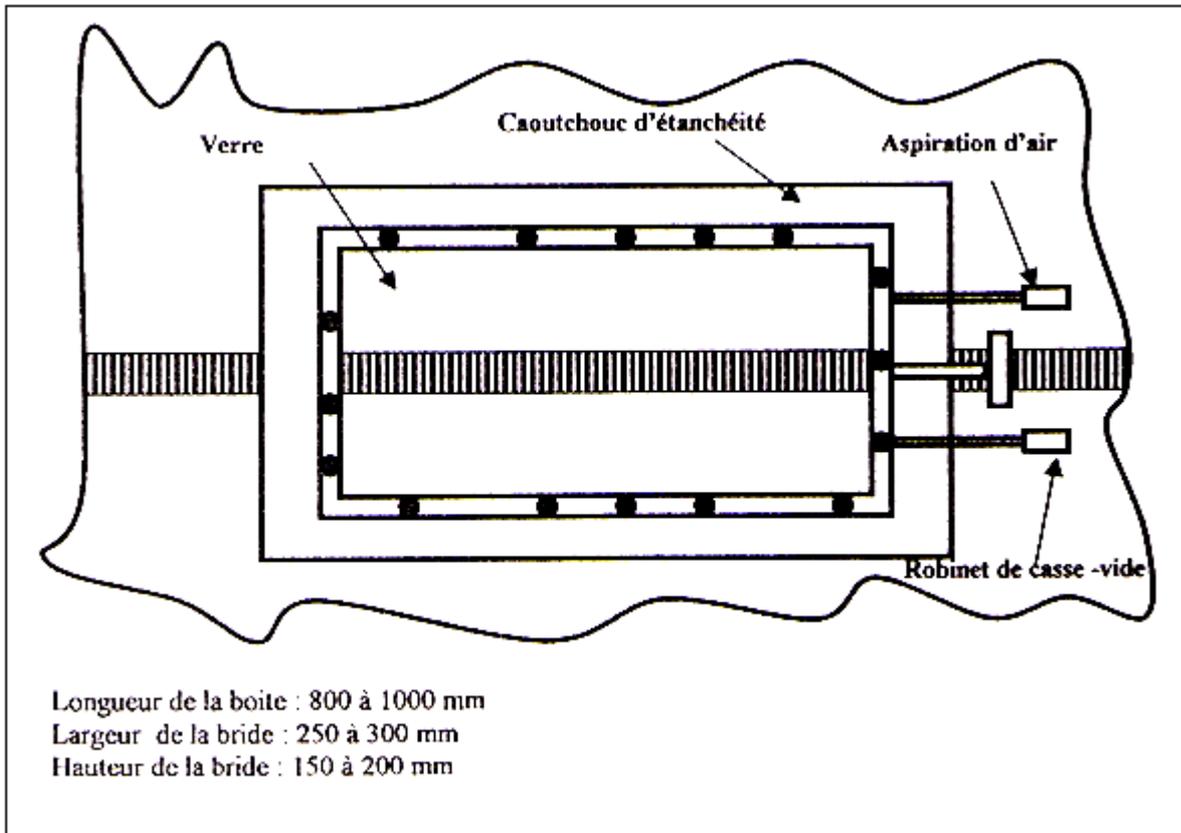


Figure IX. 1: Boîte sous vide (ventouse).

IX.2.3. Essai pneumatique

Cet essai est réalisé afin d'assurer l'étanchéité des soudures de plaques de renfort et piquages de tubulures et trous d'homme sur robe. Il s'effectue en remplissant d'air comprimé, à une pression de 1,5 bar pendant 10 minutes, l'espace entre la virole et la plaque de renfort du piquage sur robe.

Les soudures des plaques de renfort sont préalablement enduites d'eau savonneuse. L'essai est jugé acceptable si la pression ne diminue pas pendant l'essai.

IX.2.4. Essai d'étanchéité à la chaux + gas-oil

Cet essai nous permet de vérifier l'étanchéité de la soudure du pied de robe. Cet essai s'effectue après soudage du pied de robe coté intérieur. On badigeonne les soudures intérieures du pied de robe à la chaux et on injecte du gas-oil à l'extérieur de ce dernier.

Le contrôle de l'étanchéité du pied de robe se fera 24 heures après. Le contrôle est satisfaisant s'il n'y a aucune trace de gas-oil à l'intérieur du pied de robe

IX.2.5. Essai hydrostatique

- Contrôle préalable à l'essai hydrostatique

La présente spécification a pour objet de fixer les conditions d'essais des réservoirs. Elle ne se substitue pas, mais se superpose aux dispositions prévues par les normes en vigueur dans le domaine des hydrocarbures ou les codes API.

La présente procédure des tests hydrostatiques des bacs couvre les exigences minimales requises, les méthodes d'application et l'assurance qualité concernant le projet relatif à la réalisation d'un réservoir à toit fixe pour stockage de Bitume, de capacité 1500 m3.

Les essais de réception provisoire d'un réservoir comprennent :

- Un essai d'étanchéité du fond,
 - Un essai d'étanchéité général à l'eau (test hydrostatique) ;
 - Un essai éventuellement de dépression ;
 - Un contrôle de l'ensemble du matériel ;
 - Un remplissage au produit destiné (hydrocarbure ou eau).
- Préparation de l'essai

Avant de l'essai du bac, celui-ci doit être nettoyé et débarrassé de toutes pièces inutiles et accessoires de montage sauf ceux nécessaires aux essais.

Tous les orifices non utilisés pour les essais seront obturés par des tampons.

Si l'on dispose de l'eau pour l'essai hydrostatique, le réservoir sera rempli par palier en quatre étapes à 25, 50, 75 et 100 %.

Il sera en outre observé un palier de stabilisation de charge égale à 24 heures entre chaque étape et on procédera à un contrôle de tassement de la fondation du bac.

Les soudures et les tôles seront examinées chaque jour pour repérer les suintements éventuels. Cet examen étant fait par temps sec, sur tôle sèche non mouillée (pluie ou humidité). L'examen portera aussi à l'extérieur entre la tôle marginale et la fondation.

En cas de fuite décelée, on abaisse le niveau d'eau de 300 mm en dessous de cette fuite, pour procéder immédiatement à la réparation de la zone défectueuse.

La vidange du bac se fera après l'avoir laissé plein à 100 % pendant 48 heures. Elle s'effectue de la même façon que lors du remplissage du bac.

Si l'on ne dispose pas d'eau pour remplir le réservoir, l'essai hydrostatique peut être effectué, avec l'accord du client et de l'organisme agréé, par l'application d'une huile très pénétrante à l'intérieur du bac et en examinant soigneusement de l'extérieur, l'étanchéité des soudures.

IX.2.6. Vidange

Après essai satisfaisant avec maintien en charge pendant 48 heures, il sera vidangé en observant une cadence maximum de 5 mètres de variation de niveau d'eau par jour.

IX.3. Protection

IX.3.1. Protection par peinture (contre corrosion)

La présente spécification définit les conditions générales d'exécution des travaux de protection par peinture des ouvrages métalliques.

- Codes et références :
- NORMES SUEDOISES 05.900-1967 ;
- NORMES AMERICAINES SSPC-1971 ;
- NORMES FRANCAISES NF T 30 003 ;
- NORMES SAE.

✓ Nature des travaux

Les travaux comprennent en général :

- Un sablage ;
- L'application de couche de primaire (fond) ;
- L'application de couche intermédiaire ;

- L'application de couche de finition.

✓ Equipements et produits

Les équipements, matériels nécessaires à la préparation des surfaces et à l'application des peintures doivent répondre à un travail de professionnel et entretenus en bon état. L'air nécessaire au sablage, nettoyage et à la pulvérisation de la peinture au pistolet devra être disponible en qualité et quantité (pression) suffisantes. Cet air sera dépourvu d'huile et d'eau ; les filtres et séparateurs installés à cet effet seront nettoyés régulièrement.

Le sable, la grenaille ou autre sont utilisés comme abrasifs pour la préparation de surface par sablage ou grenailage. La qualité de ces abrasifs est fixée comme suit :

- Sable siliceux de rivière lavé, séché d'un calibre correspondant à la maille 20 à 40 des normes US ;
- Sable correspondant à la norme SAE (calibre maximum SAE n°G.25) ;
- Grenaille de fer correspondant à la norme SAE (calibre maximum SAE n°S.330) ;
- Mélange de sable/grenaille sus spécifiés.



Figure IX. 2: Sable sec.



Figure IX. 3: Sableuse.



Figure IX. 4: Casque de protection.



Figure IX. 5: Régulateur d'air.



Figure IX. 6: Flexible.

- Préparation des surfaces

Les surfaces doivent être parfaitement décapées par l'action d'une matière abrasive (sable, grenailles d'acier ou autre) propre et rigoureusement sèche, entraînés par l'air comprimé. Sablage jusqu'à l'obtention d'une surface métallique parfaitement propre, Les pellicules de laminage, la rouille et toutes les autres particules étrangères doivent être éliminées. Ensuite nettoyer la surface avec de l'air comprimé sec ou une brosse propre. La surface doit présenter une couleur métallique uniforme,

- Recommandations

- La projection au moyen d'air comprimé exempt d'eau ou d'huile, de la matière abrasive.
- La préparation de surface ne doit pas être exécutée si les conditions ambiantes sont telles que la surface puisse être mouillée avant l'application de la couche primaire
- le meulage des irrégularités de surface tel que replis, barbes, traces de découpage ou cisaillement, cordons et gouttelettes de soudure etc...
- Les surfaces sablées doivent avoir un aspect correspondant aux exigences applicables dans cette présente spécification.

IX.3.2. Application de la peinture

Avant l'application de la première couche, un contrôle de l'état des surfaces sablées est effectué. Il y a lieu de vérifier l'aspect des surfaces conformément aux exigences requises et de s'assurer que les surfaces à peindre sont exemptes de toute trace de poussière et autre.

Les surfaces traitées devront recevoir leur couche primaire au plus tard à la fin de la même journée et avant que n'apparaissent de nouvelles traces de rouille et/ou de poussière. La couche primaire sera effectuée à l'aide au pinceau ou d'une brosse

L'application de la peinture à base de solvants ne sera pas effectuée dans les conditions suivantes : - la température ambiante est inférieure à 10°C ou supérieure à 40°C.

- Le taux d'humidité est supérieur à 80% ou quand la température de la surface à peindre est moins de 3°C au-dessus du point de rosé de l'air ambiant.
- Temps de pluie, neige, vent, brouillard, atmosphère poussiéreuse. Sauf si les surfaces à peindre sont complètement à l'abri.

Les plaques de constructeur, les accouplements, les paliers, les tiges de vannes, les marquages d'identification et toutes autres surfaces requises, recevront une protection pendant l'application de la peinture ;

Cette protection sera facilement détachable pour être enlevée à la fin des travaux.



Figure IX. 7: Application de la peinture sur la robe.

IX.3.3. Conditions générales de contrôle et de réception

Des vérifications et contrôle sont effectués, pendant toutes les phases de protection de surfaces par peinture, par le client ou ses représentants. Ces contrôles comportent :

- Le contrôle de l'état de surface après sablage.
- La vérification de l'épaisseur de chaque couche de peinture au moyen de micro test ou autre appareil.

IX.4. Traitement thermique (Cas particulier)

Le traitement thermique après soudage est réalisé pour les tôles d'épaisseur supérieure à 25,4 mm ou sur les tôles où sont soudées des tubulures de diamètre supérieur ou égal à 12 pouces (Code API 650 paragraphes 3.74.2 & 3.7.4.3). Le traitement thermique des éléments de virole sera réalisé en atelier dans des fours. Le contrôle de température se fera par thermocouples et les valeurs doivent être enregistrées sur le diagramme façon continu et automatique sauf lors de la montée en température partir de 300°C et pendant le refroidissement en dessous de 300°C.

IX.5. Système à mousse (contre l'incendie)

Le contour du sommet de réservoir est équipé par des extincteurs qui lancent la mousse spéciale contre les incendies (feux, fuites de gaz,...etc.)

IX.6. Système de refroidissement

Ce système est composé d'un tuyau percé et placé sur la surface de la robe, sa fonction principale est de diminuer la température de réservoir si cette dernière est importante.

IX.7. Mise à la terre

C'est une mesure de sécurité contre l'excès de courant naturel (foudre...).

La plaque 1 est en laiton, elle est basée sur la plaque d'acier 2.

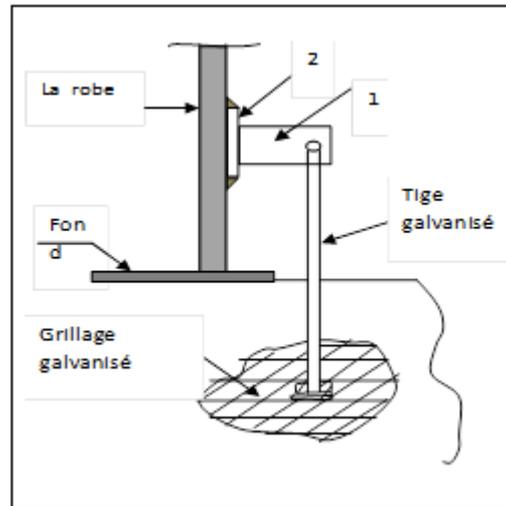


Figure IX. 8: Mise à la terre.

IX.8. Conclusion

L'essai hydrostatique est le plus défavorable pour le réservoir en générale, contrairement aux autres essais qui sont spéciales aux éléments appropriés.

Chapitre X
SOUDAGE

X. Soudage

X.1. Procédures de soudage

X.1.1. Introduction

Dans la construction des réservoirs, la phase de montage et du soudage est une opération très délicate, on ce qui concerne la sécurité et la résistance de la construction.

Les conditions de soudage et détails s'y rapportant, indiqué dans la présente procédure de soudage, seront conformes aux exigences et spécifications technique de cette profession et de l'AWS (American Welding Society).

Ces conditions définissent le soudage, les exigences des joints soudés, les matières convenant au soudage, y compris les électrodes.

Sous tous les autres rapports, le soudage qui sera réalisé devra satisfaire toutes les conditions et exigences recommandées par la Norme ASME Section IX (American Society of Mechanical Engineers).

Les soudeurs seront soumis à des tests d'homologations effectués sur des éprouvettes avant le commencement des travaux de montage sur chantier.

Le choix des électrodes et des paramètres de soudage sont donnés dans les tableaux ci-après. Ces paramètres ont été choisi en fonction des types de joints à exécuter et les matériaux utilisés.

X.1.2. Joint de soudure

X.1.2.1. Joints bout à double soudure

C'est un joint entre deux tôles bout à bout, placées approximativement dans le même plan et soudées des deux côté.

X.1.2.2. Joints à recouvrement à double soudure

C'est l'assemblage de deux tôles recouvrant, dans lequel les bords de recouvrement des deux tôles sont soudés avec soudure d'angle.

X.1.2.3. Joint à recouvrement à simple soudure

C'est l'assemblage de deux tôles recouvrant dans lequel le bord de recouvrement d'une tôle est soudé par une soudure d'angle.

X.1.2.4. Soudure bout à bout

C'est une soudure placée dans une gorge entre deux tôles bout à bout. Les gorges peuvent être à bord droites, en V ou en U (simple ou double) et peuvent être à simple ou à double chanfrein.

X.1.2.5. Soudure d'angle

C'est une soudure de section approximativement triangulaire assemblant deux surfaces pratiquement perpendiculaire, comme dans un assemblage à recouvrement, assemblage en T.

X.1.2.6. Soudure d'angle normale

C'est une soudure d'angle dont la taille est égale à l'épaisseur de la pièce assemblée la plus mince.

X.1.2.7. Soudure de pointage

C'est une soudure destinée à maintenir un ensemble souder en alignement convenable jusqu'à ce que les soudures définitives soient effectuées.

X.1.3. Choix du procédé de soudage

Le terme « soudage à l'arc » définit un procédé de soudage par fusion des bords et addition d'un métal d'apport (souvent contenu dans l'électrode ou le fil-électrode). La chaleur de l'arc peut varier entre 3500 et 5550 °C. Le métal de base est fondu avec le métal d'apport, ce qui crée le bain de fusion. Lors du soudage à l'arc, le courant circule à travers un conducteur qui relie le poste de soudage à l'électrode. Il forme un arc électrique en traversant l'espace libre entre l'électrode et le métal de base, puis il poursuit sa course en passant par le câble de masse pour retourner au poste de soudage.

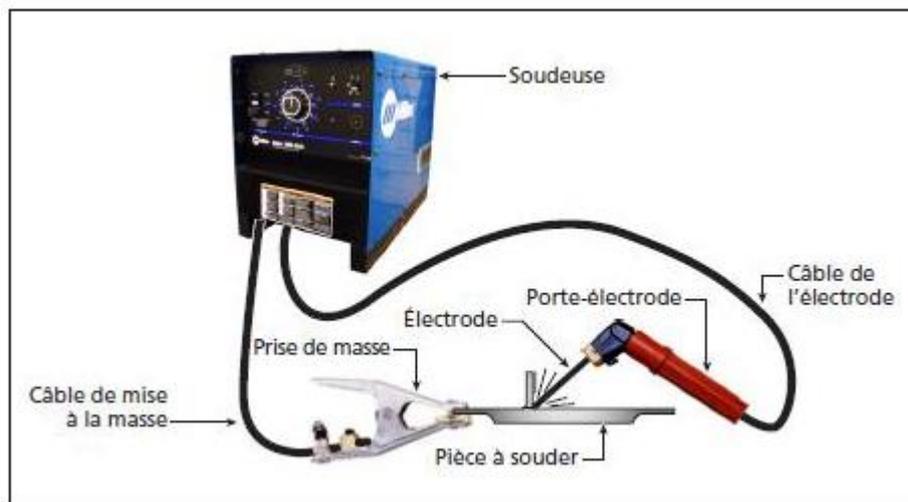


Figure X. 1: Schéma de principe du soudage à l'arc.

X.1.4. Choix d'électrode de soudage

Les électrodes de soudage à l'arc manuel satisfont à la série de classification (E60) et (E70), convenant aux caractéristiques de courant électrique, à la position de soudage et aux autres conditions d'utilisation prévues dans le règlement de l'AWS, spécification pour électrodes de soudage à l'arc enrobées en acier doux : (Specification for MildSteelCovered Arc Welding Electrodes).

- Électrodes enrobées AWS E7018 type OK 48.00 (basiques)

Tous les cordons de soudures sont effectués à l'arc électrique manuel. Pour ces réservoirs on utilise une électrode de $\varnothing = 3,25\text{mm}$, et $\varnothing = 4\text{mm}$.

Tableau X. 1: Caractéristiques de l'électrode enrobée.

Désignation	Type d'enrobage	$\varnothing(\text{mm})$	Nature du courant	Classification	Composition chimique ou mécanique	
					C : 0,1 Mn : 0,5 Si : 0,9	E: 410-450 Nmm2 R530-90 Nmm2 A : 5d 30%
Ok48-00	Basique	3,25 4	Continu -	AW E7018		

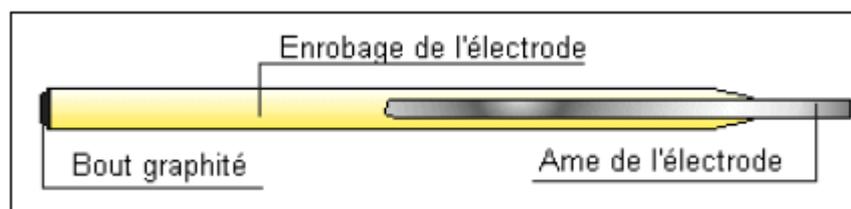


Figure X. 2: Electrode.

➤ Etuvage des électrodes de soudage

Les électrodes de soudage subiront un étuvage pendant au moins deux (02) heures à des températures de 250°C à 300°C, avant leur utilisation sur le site et à des températures de 60°C à 80°C pendant le soudage.

A la fin des travaux de soudage, toutes les électrodes restantes seront réarrangées dans l'étuve à des températures de 60°C à 80°C.

X.1.5. Procédés et détails de soudage

- Le soudage sera exécuté manuellement selon les méthodes spécifiées, par des soudeurs et agrémentés Homologué.
- Le soudage sera exécuté de manière à assurer une fusion complète avec le métal de base, dans les limites exigées par le Code ASME.
- Le soudage des éléments du réservoir ne sera pas effectué dans les conditions suivantes :
 - lorsque les surfaces des éléments à souder sont humides par suite de pluie, neige ou glace ;
 - lorsqu'il pleut ou il neige sur ces surfaces et durant les périodes de grand vent. (Sauf si le soudeur et son travail soient protégés conformément aux normes de soudage)
- Le soudage des éléments du réservoir ne sera pas effectué lorsque la température du métal de base est inférieur à 0°F (-18°C).
- Lorsque la température du métal de base comprise entre 0°F et 32°F (-18°C et 0°C), il sera chauffé à une température chaude au toucher, sur une distance de 3Pce (76mm) du point où doit commencer le soudage.
- Lorsque la température du métal de base sera supérieure à 32°F (0°C), le soudage se fera normalement.
- Pour le soudage multi couches, chaque couche de métal d'apport sera débarrassée du laitier et autres dépôt avant l'application de la couche suivante.
- Les bords de toutes les soudures rejoindront la surface de la tôle, sans angle aigu.
- Les tôles de tous les joints à recouvrement seront maintenues en contact étroit pendant l'opération de soudage.
- Les soudures de pointage, utilisées dans l'assemblage des joints verticaux de la robe, seront enlevées pendant l'opération de soudage. Elles ne devront pas subsister dans le joint définitif.
- Les soudures de pointage des tôles de fonds, de toit et accessoires, n'ont pas lieu d'être enlevées si elles seront saines et si les cordons de soudure appliqués ultérieurement soient entièrement fondus dans ces soudures.
- Les soudures de pointage seront réalisées avec des électrodes de même type et nature que celles utilisées pour le soudage définitif.
- Les tôles de fond, après avoir été disposées et pointées, seront assemblées par soudage des joints suivant un ordre établi sur place par un spécialiste, afin de réduire au minimum les déformations par retrait et d'assurer ainsi une surface aussi plane que possible.

- Le soudage de la robe au fond (jonction de la robe avec le fond du réservoir) sera pratiquement terminé avant qu'il soit procédé au soudage des joints de fond laissés ouverts pour compenser le retrait de toute soudure antérieure.
- Les tôles de la robe seront alignées à l'aide de pinces métalliques fixées aux tôles de fond.
- Après l'alignement, les tôles de robe seront assemblées avec le fond par une soudure de pointage, avant de procéder au soudage continu.
- Les tôles de la robe, assemblées par soudage bout à bout, seront appariées avec précision et maintenues en place durant l'opération de soudage.
- Le défaut d'alignement des joints verticaux terminés ne dépassera pas les tolérances admises, 10% de l'épaisseur de la tôle ou bien 1/16'' (1,6mm) de la plus grande valeur à considérer des épaisseurs.
- Dans les joints de soudure (bout à bout) horizontaux achevés de la robe, le défaut d'alignement ne dépassera pas les tolérances admises : la virole supérieure ne dépassera pas la surface de la virole inférieure de plus de 20% de l'épaisseur de la virole supérieure, avec un maximum de 1/8'' (3,2mm).
- Les pacifications concernant le toit et les accessoires (tels que escalier, garde-corps, échelle,...) ne comportent pas de stipulations particuliers pour le montage. Ces éléments seront, tout simplement, à l'alignement et à la cote voulue.

X.2. Procédure de contrôle et d'inspection des soudures

Le contrôle de la qualité de soudage des pièces préfabriquées devra se dérouler en continuité pendant tout le temps de la durée des opérations de soudage. Celui-ci doit être basé sur des standards en vigueur et l'expérience acquise sur les travaux similaires.

X.2.1. Contrôle avant le soudage (contrôle qualitatif)

Ce contrôle envisage les opérations suivantes :

- Contrôle d'équipement de soudage.
- Contrôle des matériaux de base.
- Contrôle de matériaux d'apport.
- Contrôle de conditions du travail.
- Vérification des dimensions des joints.
- Contrôle de nettoyage des surfaces.
- Contrôle de pointage.

X.2.2. Contrôle en cours de soudage

En cours d'exécution du soudage, les personnes compétentes de contrôle sont tenues de suivre en permanence les activités suivantes :

- Le choix de la procédure de soudage.
- La grandeur des paramètres choisis.
- La qualité de la flamme de brûleur.
- Le mode du commencement et la fin de l'arc.
- Exécution de la première passe.
- Mode d'exécution d'autres passes.
- Le nettoyage entre les passes et à la fin de la dernière passe.

X.2.3. Contrôle après le soudage

Immédiatement après le soudage, le contrôleur doit inspecter les soudures terminées. Ce contrôle comporte les opérations suivantes :

- **Contrôle visuel ;**
- **Contrôle dimensionnel ;**
- **Contrôle radiographique (100 % des joints bout à bout)**

Le contrôle radiographique des soudures horizontales et verticales de la robe se fera conformément au code API650.

L'interprétation et les critères d'acceptabilité des radiographies se feront suivant le code ASME section VIII. Le choix des emplacements de radiographies devra être reparti de façon que tous les soudeurs soient contrôlés.

Les radiographies doivent être numérotées d'une façon appropriée. Cette numérotation est portée sur le plan du développé de la robe.

Sur chaque radiographie, les indications suivantes doivent apparaître à côté du cordon de soudure :

- Numéro du bac (identification) ;
- Repère du soudeur ;
- Numéro du film ;
- Numéro de commande du projet,
- La lettre « R » précèdent le numéro du film quand il s'agit d'une réparation.

En plus de ces indications, on placera sur le cordon de soudure un indicateur de qualité d'image (pénétrömètre)

• Contrôle par ressuage

Le contrôle par ressuage est utilisé pour vérifier l'étanchéité des soudures de tôles marginales à l'emplacement V1 et où on ne peut exécuter un contrôle de soudures par l'une des méthodes citées ci-dessus.

L'examen par ressuage nous permet de déceler les discontinuités telles que replis, sautoires, porosités débouchantes sur la surface du joint de soudure.

La surface à examiner doit être propre et exempte de graisse et autres huiles. Pendant toute l'opération de ce contrôle la température extérieure du joint à examiner doit être comprise entre 10 et 30°C. Les produits utilisés sont :

- Pénétrant ;
- Révélateur ;
- Nettoyant (solvant). Ces produits doivent être de même marque.

L'application du pénétrant se fera par pulvérisation à l'aide d'une bombe aérosol. Le temps d'imprégnation doit être compris entre 15 et 20 minutes.

Avant l'application du révélateur, on doit éliminer la couche du pénétrant par rinçage à l'eau et sécher avec le solvant et/ou chiffons secs.

Le contrôleur doit prendre soin d'observer la formation d'indications dès le début du séchage du révélateur.

Les indications (éventuels défauts) sont mieux appréciées les plutôt 7 minutes, et au plus tard 30 minutes après séchage du révélateur.

Doivent être réparés les défauts donnant lieu à une :

- Indication linéaire ;
- Indication arrondie ;
- Indication alignée.

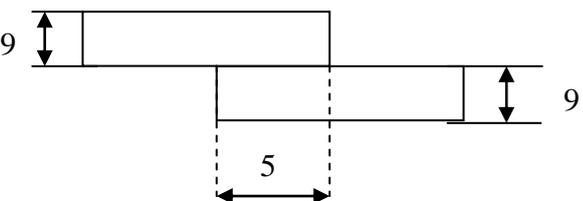
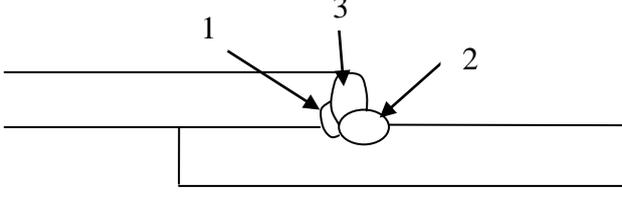
Lorsque l'examen est terminé, les produits résiduels sont éliminés.

• Contrôle par ultrason

Les résultats des contrôles appliqués et des épreuves seront enregistrés sur des formulaires qui seront conjointement définis par l'Entreprise et l'inspection de l'Acheteur et représentent les seuls documents qui prouvent la qualité des travaux effectués.

X.3. Spécifications de soudage

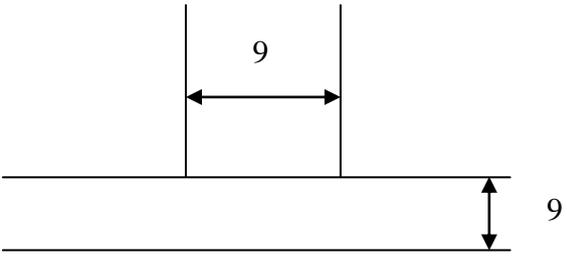
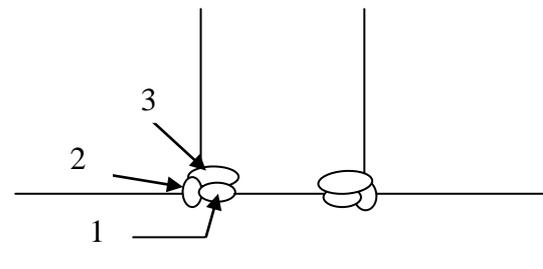
X.3.1. Tôles de fond

Type d'assemblage				Par recouvrement			
Mode de chanfreinage				/			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	N° de passe	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
A573 gr70	1	110 à 150	23	Electrode	Ømm	Long (mm)	Plat
	2	140 à 200	24	E 70 18	3,25 4	350 450	
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

X.3.2. Tôles marginales

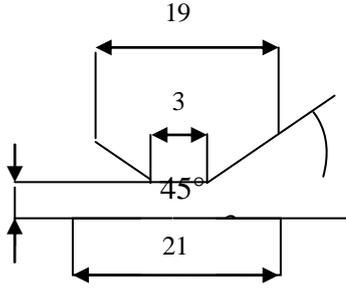
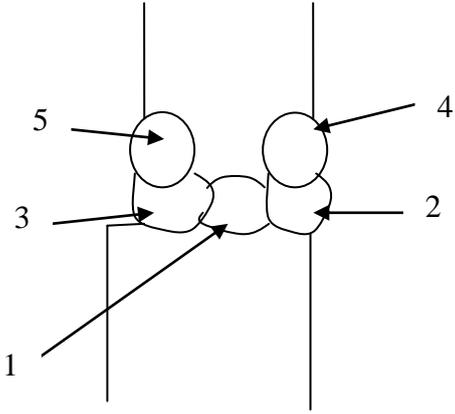
Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en V			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	N° de passe	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	140 à 200	24	E 70 18	4	450	1G/Pa
	2						
	3						
Schéma de préparation				Schéma des passes			

X.3.3. Pied de la robe

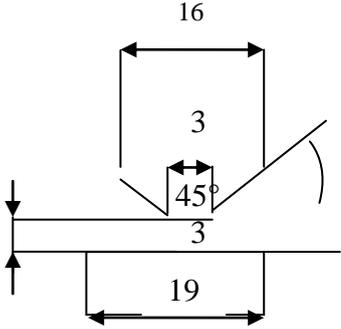
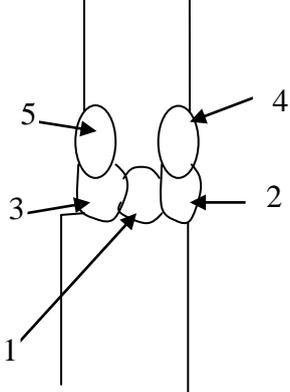
Type d'assemblage				Soudage d'angle			
Mode de chanfreinage				/			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	N° de passe	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E 70 18	3.25 4	350 450	2F Pb
	2	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

X.4. Soudage des joints horizontaux de la robe

X.4.1. Soudage de joint entre V1 et V2

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en K			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Électrode	Ø (mm)	Long (mm)	
A573 gr 70	1	110 à 150 140 à 200	23 24	E70 18	3,25 4	350 450	2G/PC
	2						
	3						
	4						
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

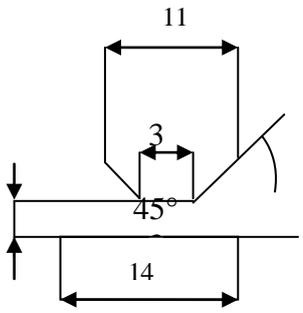
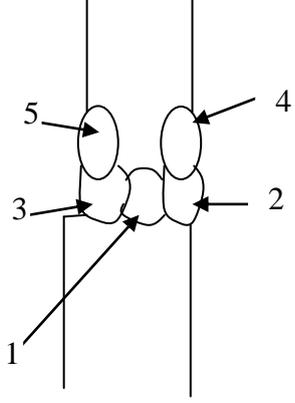
X.4.2. Soudage de joint entre V2 et V3

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en K			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	2G/PC
	2						
	3	140 à 200					
	4						
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

X.4.3. Soudage de joint entre V3 et V4

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en K			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
A573 gr70	1	110 à 150	23	Electrode	Ø mm	Long (mm)	2G/PC
	2			E70 18	3,25	350	
3	140 à 200	24	4				450
4							
Schéma de préparation				Schéma des passes			

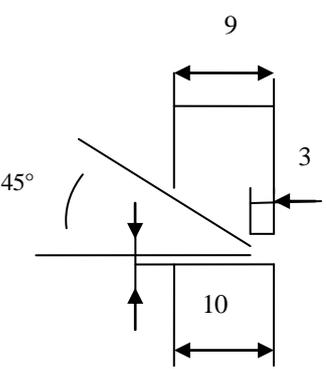
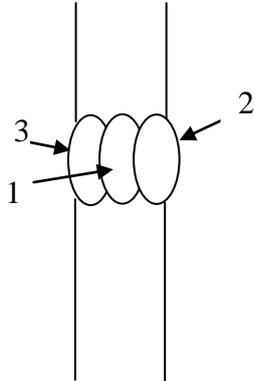
X.4.4. Soudage de joint entre V4 et V5

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en K			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150 140 à 200	23 24	E70 18	3,25 4	350 450	2G/PC
	2						
	3						
	4						
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

X.4.5. Soudage de joint entre V5 et V6

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en K			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150 140 à 200	23 24	E70 18	3,25 4	350 450	2G/PC
	2						
	3						
	4						
Schéma de préparation				Schéma des passes			

X.4.6. Soudage de joint entre V6 et V7

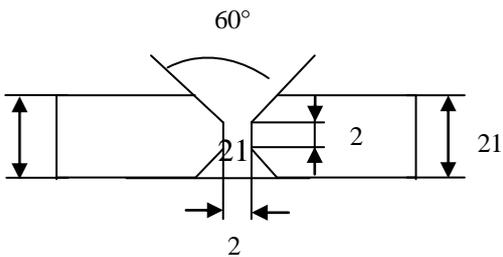
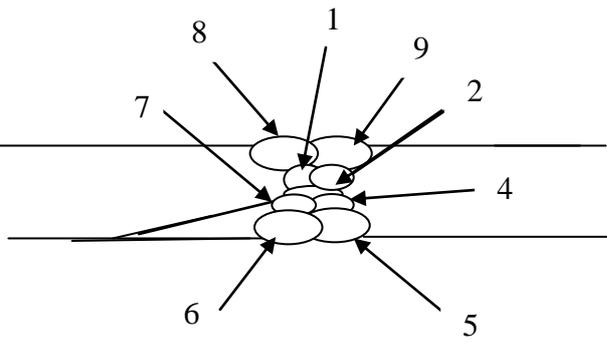
Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en V			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	2G/PC
	2	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

X.4.7. Soudage de joint entre V7 et V8

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en V			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	2G/PC
	2	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			

X.5. Soudage des joints verticaux de la robe

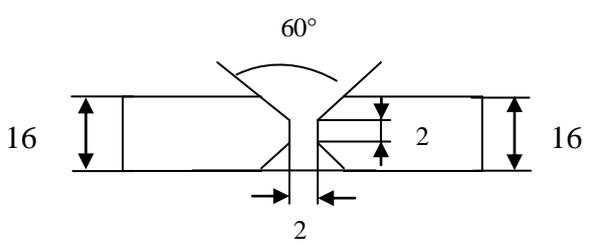
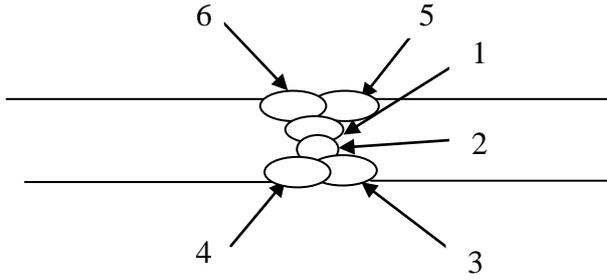
1^{ère} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en X			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	2G/PC
	8	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

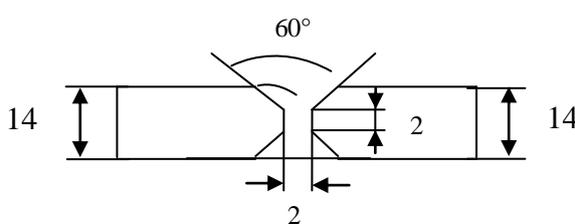
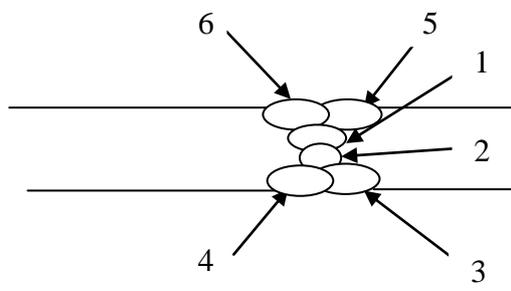
2^{ème} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en X			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	1G/Pa
	6	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			

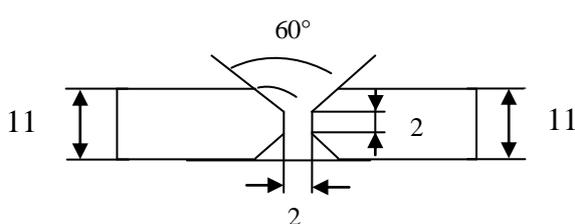
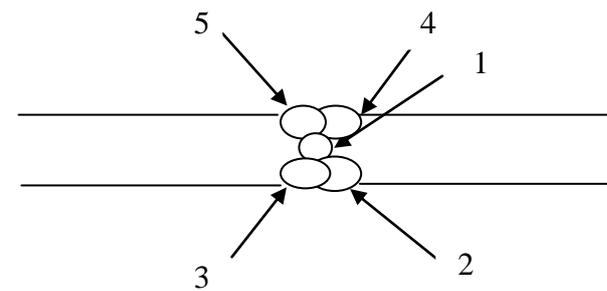
3^{eme} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en X			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	1G/Pa
	4	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

4^{ème} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en X			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	1G/Pa
	4	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

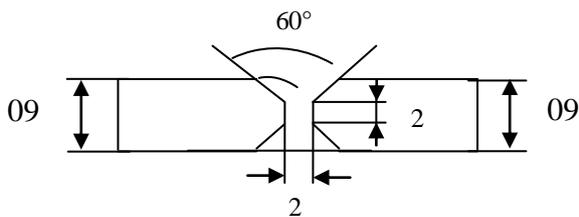
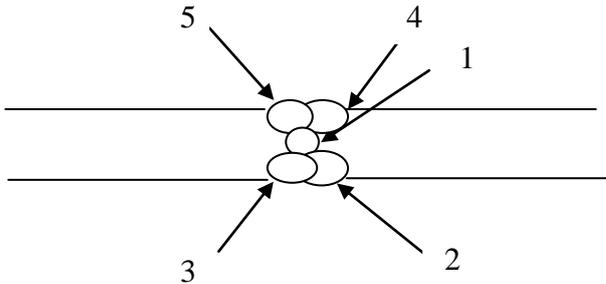
5^{eme} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en X			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	1G/Pa
	4	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

6^{ème} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en V			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electro de	∅ mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	1G/Pa
	4	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			

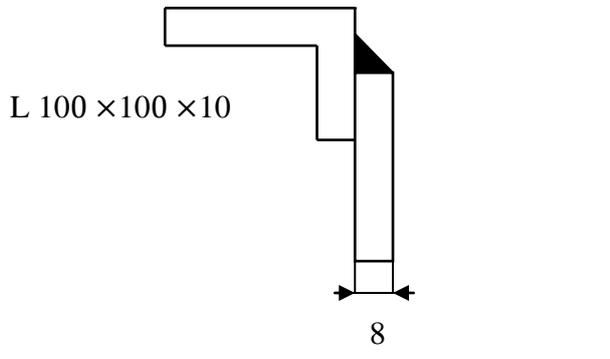
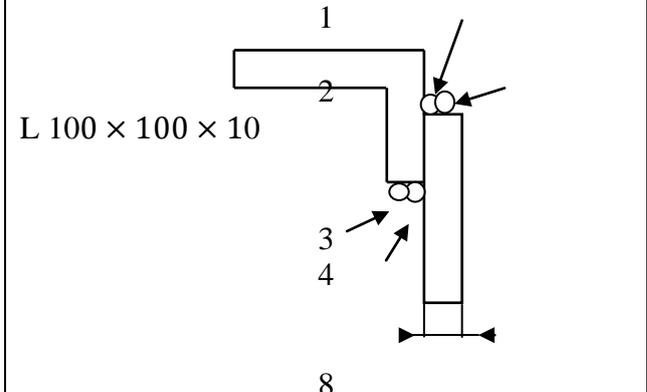
7^{eme} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en V			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	1G/Pa
	4	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

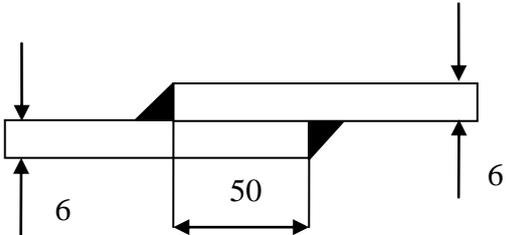
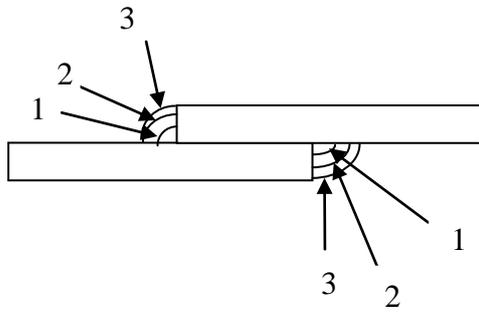
8^{eme} virole :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				Entaille en V			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ømm	Long (mm)	
A573 gr70	1	110 à 150	23	E70 18	3,25 4	350 450	1G/Pa
	4	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			

Soudage de la cornière de rive :

Type d'assemblage				Bout à bout			
Mode de chanfreinage				/			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A283 gr C	1	110 à 150	23				
	4	140 à 200	24	E70 18	3,25 4	350 450	
Schéma de préparation				Schéma des passes			
 <p>L 100 × 100 × 10</p> <p>8</p>				 <p>L 100 × 100 × 10</p> <p>8</p>			

X.6. Joint de soudage de toit

Type d'assemblage				Par recouvrement			
Mode de chanfreinage				/			
Code utilisé				ASME			
Procédé de soudage				S.M à l'arc électrique			
Métal de base	Nombre de passes	Intensité (A)	Tension (V)	Métal d'apport			Position de soudage
				Electrode	Ø mm	Long (mm)	
A283 gr C	1	110 à 150	23	E70 18	2,5	350 450	1F
	3	140 à 200	24				
Schéma de préparation				Schéma des passes			
							

X.7. Conclusion

Le soudage des joints verticaux et le soudage d'angle seront exécutés manuellement selon la méthode spécifiée (méthode SMAW).

Le soudage des joints horizontaux (corniche) sera exécuté par soudage semi-automatique sous flux solide selon la méthode spécifiée (méthode SAW).

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce projet nous a permis de nous étudier les différentes phases de la réalisation globale des réservoirs cylindriques à toit fixe, et ainsi consolider nos connaissances en y ajoutant de nouvelles, en termes d'étude climatique, de dimensionnement des tôles à des valeurs très proches de la réalité pratique. Nous avons pu vérifier, d'un point de vue théorique tout au moins, la stabilité des structures bâties, dans différentes situations, et selon diverses hypothèses théoriques de travail, et de la sorte opter pour le dimensionnement de la charpente du toit fixe.

Toutes ces études ont été réalisées conformément aux normes et règlements API 650, ASME, ASTM, NV65, RNVA 99 et Eurocode 3.

Quant à nous, notre espoir est que ce modeste travail puisse nous servir d'introduction et d'éclairage en vue de nous guider vers l'amélioration de nos connaissances dans un domaine vaste et exaltant, où la patience, l'endurance, la perspicacité et le sérieux sont des vertus cardinales pour qui souhaite y tenir la moindre honorable petite place.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- API Standard 650 version 2013 [American Society For Testing and Materials].
- ASME Section IX [WELDING AND BRAZING QUALIFICATION].
- Eurocode 3.
- Règlement RNV99 [Réglement Neige et Vent].
- Règlement RPA99 version 2003 [Règlement Parasismique Algérien].
- ASTM [American Society of Testing and Materials].
- Livre Profiles Europeens Arcelor Mittal.
- NV65 version 2000 [Regels définissant les effets de la Neige et du vent sur les constructions et annexes].
- MERABET Nassim et BOUNOUS Mohamed : Mémoire de fin d'études: [Etude et montage d'un bac de stockage de bitume de 1500 m³ avec serpentín intérieur de chauffage]. Promo : MOCP17, 2018/2019
- MEGLOULI Kamal : Mémoire de fin d'études: [Etude et conception d'un réservoir à toit fixe d'une capacité de 30000 m³ pour le stockage de pétrole brut]. Promo : MOCP13, 2014/2015
- Sites internet.

Résumé

Notre travail consiste à étudier, concevoir et dimensionner les éléments d'un réservoir de gasoil d'une capacité de 27000 m³ avec un réseau de tuyauterie à Cap Djinet wilaya de Boumerdes, Algérie.

- ❖ Le réservoir se compose d'un groupe de tôles cylindriques soudées avec un axe vertical et un toit fixe incliné.
- ❖ Pour le dimensionnement de la tuyauterie, nous avons utilisé le programme **Auto pipe**.
- ❖ Pour le dimensionnement des éléments du réservoir, nous avons utilisé de nombreuses normes et lois internationales telles que **API 650, ASME, ASTM, Eurocode3**.

Abstract

Our work revolves around studying and designing tank with capacity of 27000 m³ of Gasoil and with pipeline network in Cap djinet state of Boumerdes, Alegria.

- ❖ The tank is made up of a group of welded cylindrical sheets with a vertical axis and a fixed inclined roof.
- ❖ We have used **Auto pipe** for pipeline network.
- ❖ We have used many international standards and laws such as **API 650, ASTM, ASME, Euro code3**.

خلاصة

عملنا هذا يتمحور حول دراسة وتصميم خزان بسعة 27000 متر مكعب من المازوت مربوط بشبكة أنابيب في رأس جنات ولاية بومرداس، الجزائر.

- ❖ الخزان عبارة عن مجموعة من صفائح معدنية الملحومة مع اذا تشكل أسطوانة عمودية عموديو سقف ثابت مائل.
- ❖ لقد استخدمنا برنامج **Auto pipe** بالنسبة لشبكة الأنابيب.
- ❖ لقد قمنا باستخدام العديد من المعايير والقوانين العالمية، مثل **API 650, ASME, ASTM, Eurocode3**.