

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



Faculté de TECHNOLOGIE
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

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

Filière : GENIE MECANIQUE
Spécialité : Ouvrages chaudronnés et piping

THEME

Etude et conception d'un bac de stockage de bitume à toit fixe
supporté de capacité 2000 m³ avec serpentin interne et
calorifugeage externe

Présenté par :
BOUCETTA NAIMA
BENDAHDANE HANA

Promoteur : Mr.R .IFRAH
Encadreur : Mr.K.HOUSSOU

Promotion 2019- 2020



Remerciements

بسم الله الرحمن الرحيم

*Je remercie DIEU qui m'a donné la force et la patience pour
Terminer ce travail.*

J'exprime mes sincères remerciements :

*À mon promoteur M.IFRAH pour son aide et À mon encadreur
M.HOUSSOU.*

*À l'ensemble des enseignants du département de Génie mécanique
Et l'ensemble de personnel d'unité METALMIND HAMIZ.*

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

MERCI



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*Mes très chers parents source de vie, d'amour
Et d'affection.*

*Mes chers sœurs **RAWYA** et **MAROI** et mon héro frère
REDWANE*

Source de joie et bonheur.

*À toute ma famille, source d'espoir
Et de motivation.*

*À tous mes amis, tout particulièrement **MERIEM**.*

*Ma binôme **BOUCETTA NAIMA** et Ma cousine **LINA***

À vous cher lecteur.

Hana





Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*Mes très chers parents source de vie, d'amour
Et d'affection.*

Mes chers sœurs et frères

*Mon marie **ISHAK***

*À toute ma famille, tout particulièrement ma jumelle **MAISSA***

*À tous mes amis, tout particulièrement **MOUNIA***

*Ma binôme **BENDAHMANE HANA***

À vous cher lecteur.

NAIMA



Sommaire

Introduction générale	1
CHAPITRE I : Présentation de sujet	
I.1 : Notions générales sur les bacs de stockage	2
I.1.1 : Introduction	2
I.1.2:Types de réservoirs de stockage : (présentation et caractéristique principales)	2
I.1.2.1 : Réservoirs sous pression	2
I.1.2.1.1 : Les sphères	2
I.1.2.1.2 : Les réservoirs horizontaux	2
I.1.2.2 : Réservoirs atmosphériques	3
I.2 : Activité des bacs de stockage en Algérie	5
I.3 : Notion générale sur le produit stocké (le bitume)	5
I.3.1 : Présentation générale	5
I.3.2 : Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole (schéma de principe).....	5
I.4 : Présentation du lieu de stage	6
I.4.1 : Présentation de l'entreprise ENCC	6
I.4.2 : Organigramme de l'entreprise ENCC	7
I.4.2.1 : L'unité HAMIZ	7
I.5 : Conclusion	8
CHAPITRE II: Etude climatique	
II.1 Introduction	10
II.2 Étude du vent.....	10
II.2.1 Principes de calcul	10
II.2.2 Vérification à la stabilité d'ensemble d'une construction	11
II.2.2.1 Calcul du coefficient dynamique C_d	11
II.2.2.2 La pression dynamique $q_{dyn}(Z)$	18
II.2.2.3 Le calcul de coefficient de la pression externe C_{pe}	19
II.2.2.4 Le calcul de coefficient de pression intérieur C_{pi}	21
II.2.2.5 Détermination de la pression due au vent.....	21
II.3 Étude de neige	21
II.3.1 Charge de neige sur la toiture	22
II.3.2 Le calcul du coefficient d'ajustement des charges	22
II.4 Conclusion.....	22
CHAPITRE III : Etude de fond et de la robe	
III.1 Introduction	23

III.2 Données de Calculs	23
III.3 Critères de choix d'un matériau	24
III.4 Soudabilité de l'acier: acier A283 grade c	25
III.5 Conception de fond	25
III.6 Calculs de fond	27
III.6.1 Les tôles centrales	27
III.6.1.2 Epaisseur de la tôle centrale	27
III.6.1.3 Nombre des tôles centrales	27
III.6.2 Les tôles annulaires	28
III.6.2.1 Calcul l'épaisseur des tôles annulaires	29
III.6.2.2 Largeur des tôles marginales	29
III.7 Conception de la robe	30
III.7.1 Calcul du nombre de viroles : sans joints de soudure	30
III.7.2 Nombre des tôles par virole	30
III.7.3 Calcul des épaisseurs par viroles	30
III.7.3.1 Epaisseurs théoriques	31
III.7.3.2 Epaisseurs hydrostatique	32
III.7.4 Calcul du poids total de la robe	33
III.8 Conclusion	34
CHAPITRE IV: Etude de la charpente de toit	
IV.1 Introduction	35
IV.2 Dimensionnement et calculs de toit	36
IV.2.1 Données et résultats des calculs	36
IV.2.2 Les applications numériques	36
IV.2.3 Format de la tôle	37
IV.3 Etude de chevron	38
IV.3.1 Vérification de la résistance des chevrons d'entretoise	38
IV.3.2 Charges permanentes G	39
IV.3.3 La surface de sollicité	40
IV.3.4 Vérification de la flèche	41
IV.3.5 La vérification de la résistance	42
IV.3.6 Calcul du poids de chevron d'entretoise	43
IV.4 Vérification des chevrons	43
IV.4.1 Vérification des résistances de chevron	44
IV.4.2 Vérification de la flèche	47
IV.4.4 Vérification de la résistance de chevron (flexion simple)	48
IV.4.5 Effort tranchant	49
IV.4.6 Calcul du poids des chevrons	49
IV.5 Calcul de poteau central	49

IV.5.1 La hauteur du poteau central	50
IV.5.2 Calcul de la force de compression sur le poteau	51
IV.5.3 Vérification à la compression	52
IV.5.4 Vérification au flambement	53
IV.6 Conclusion	54
CHAPITRE V : Accessoires de réservoir	
V.1 Introduction	55
V.2 Trou d'homme sur la robe	55
V.3 Trou d'homme sur toit	55
V.4 Tubulures	56
V.5 Porte visite.....	57
V.6 La cuvette	57
V.7 Calorifugeage	57
V.8 Serpentins	60
V.8.1 Définition serpentins	60
V.8.2 Les différents types des serpentins	60
V.9 Escalier hélicoïdal	61
V.9.1 Dimensionnement des escaliers hélicoïdaux	63
V.9.2 Évaluation des charges	63
V.9.3 Vérification des marches	63
V.9.4 Calcul de limon	64
V.9.5 Calcul de palier de repos	65
V.9.5.1 La tôle	66
V.9.5.2 Élément 1 : UPN140.....	66
V.9.5.3 Élément 2 : UPN140.....	67
V.9.6 Calcul de la console	68
V.10 Conclusion	69
CHAPITRE VI : Stabilité de réservoir	
VI.1. Stabilité de la robe sous le vent.....	70
VI.1.1 Calcul de la hauteur maximale non raidie (§ 5.9.7 API 650)	70
VI.1.2. Calcul de la hauteur transformée	70
VI.1.3. Conclusion	70
VI.2. Stabilité du réservoir au vent	70
VI.2.1 Moment de basculement dû au vent (§ 5.11 API 650).....	70
VI.2.2 Résistance au basculement	71
VI.2.3 Résistance au glissement (Voir API-650 5.11.4)	72
VI.2.4. Conclusion	72
VI.3 .Vérification de la Stabilité Du réservoir au séisme	72
VI.3.1 Paramètres liés à la Réponse dynamique du site et du réservoir	72

VI.3.2 Les charges permanentes	74
VI.3.3 Poids effective du produit dû au séisme.....	74
VI.3.4 Centre de gravité de la robe et du toit par rapport au fond du réservoir (Xr et Xs).....	74
VI.3.5 Centre d'action des forces sismique latérale sur le réservoir (Xi et Xc).....	75
VI.3.6 Calcul des contraintes hydrodynamiques	75
VI.3.7 Vérification des contraintes hydrodynamique pour chaque virole	76
VI.3.8. Conclusion	76
VI.4.Calcul du moment de renversement au niveau du pied de robe (Mrw).....	76
VI.4.1. Vérification des conditions d'ancrage	76
VI.4.1.1. Détermination du rapport J	76
VI.4.2 Condition 2 Vérification de la largeur des tôles marginales.....	77
VI.4.3 Condition 3 Vérification de l'épaisseur des tôles marginales par rapport la robe	77
VI.4.4 Condition 4 Vérification de La résistance de la robe aux contraintes de compression longitudinale	77
VI.4.4.1 Détermination de la contrainte de compression admissible Fc	77
VI.4.4.2 Contrainte Compression pour un réservoir mécaniquement ancré	78
VI.4.4.3.Conclusion	78
VI.5. Condition 5 flexibilité de tuyauterie (Tableau E.8)	78
VI.6. Résistance aux forces de cisaillement	78
VI.6.1. Forces de glissement dû au séisme	78
VI.7. Dimensionnement du système d'ancrage.....	79
VI.8. Conclusion	80
CHAPITRE VII : Fabrication de montage	
VII.1 Introduction	81
VII.2 Procédure de fabrication	81
VII.2.1 Contrôle des plans et des documents	81
VII.2.2 Tôlerie	81
VII.2.3 Traçage	81
VII.2.4 Préparation	81
VII.2.5 Tolérance	81
VII.2.6 Débitage des tôles	81
VII.2.7 Chan- freinage des tôles	82
VII.2.8 Le cintrage ou roulage des tôles	82
VII.2.9 Perçage	82
VII.2.10 Accessoire (fabrication unitaire)	83
VII.2.10.1 Tubulures	83
VII.2.10.2 Trou d'homme	83
VII.3 Gamme de fabrication	83
VII.3.1 Gamme de fabrication du fond	83

VII.3.2 Gamme de fabrication de la robe	85
VII.3.3 Gamme de fabrication du toit	87
VII.4 Montage sur chantier	89
VII.4.1 Introduction	89
VII.4.2 Préparation du chantier	89
VII.4.2.1 Réceptions des travaux GENIE CIVIL.....	89
VII.4.2.2 Protection et nettoyage	89
VII.4.3 Documentation techniques	89
VII.4.4 Procédure de soudage	89
VII.4.5 Qualification des procédés de soudage	90
VII.4.5 Qualification des soudeurs	90
VII.4.6 Préparation des tôles	90
VII.4.3 Montage du fond	90
VII.4.3.1 Repérage	90
VII.4.3.2 Protection anticorrosive du fond	91
VII.4.3.3 Montage du fond	91
VII.4.3.4 Pointage du fond	91
VII.4.3.5 Soudage du fond	91
VII.4.4 Montage de la robe	92
VII.4.4.1 Préparation des tôles	92
VII.4.4.2 Pointage et sondage de la première virole	92
VII.4.4.3 Pointage et soudage de la deuxième vérole	93
VII.4.4.4 Pointage et soudage du joint horizontal entre la première et la deuxième virole	93
VII.4.4.5 Soudage du fond et de la première virole	94
VII.4.4.6 Montage de la troisième virole	94
VII.4.4.7 Montage des autres viroles	94
VII.4.4.8 Montage et soudage de la cornière de rive	94
VII.4.4.9 Fixation des tôles lors de montage	95
VII.4.5 Montage de toit fixe	95
VII.4.5.1 Montage et soudage des traverses	95
VII.4.5.2 Montage et soudage des tôles de toit	95
VII.5 Conclusion	95
CHAPITRE VIII: Soudage et contrôle	
VIII.1 Introduction	96
VIII.2. Procédés de soudage.....	96
VIII.2.1. Soudure à l'arc électrique avec électrode enrobée SMAW	96
VIII.2.2. Soudage SAW	97
VIII.3. Choix de l'électrode de soudage	98
VIII.4. Etuvage des électrodes de soudage	98

VIII.5. Qualification des soudeurs	99
VIII.6. Les joints de soudure	100
VIII.7. Spécification de soudage	101
VIII.7.1. Tôles de fond	101
VIII.7.2 Tôles marginales	102
VIII.7.3. Pied de la robe	103
VIII.7.4. Joints de soudure verticaux de la robe	104
VIII.7.5. Du 2 ^{ème} Virole jusqu' à la 6 ^{ème} virole	105
VIII.7.6. Joints de soudure de toit	106
VIII.8. Contrôle des soudures	107
VIII.8.1. Choix de la méthode de contrôle	107
VIII.8.1.1. Contrôle du réservoir	107
VIII.9. Conclusion	110

CHAPITRE IX : Essai et protection

IX.1 Introduction	111
IX.2 Essais de réservoirs	111
IX.2.1 Génialité sur les essais	111
IX.2.2 Essais sous vide	111
IX.2.3 Essais pneumatique	111
IX.2.4 Essais d'étanchéité a la chaux plus gas-oil	111
IX.2.5 Essais hydrostatique	112
IX.2.6 Documents d'exécution et d'inspection	112
IX.2.7 Préparation	112
IX.3 Protection	113
IX.3.1 Protection par peinture (cotre corrosion)	113
IX.3.2 Les moyens de lutte contre la corrosion	113
IX.3.3 Préparations de surfaces	113
IX.3.4 Procédure de la peinture	114
IX.3.4.1 Règles générales pour la mise en œuvre	114
IX.3.4.2 Application de la peinture	114
IX.3.3 Conditions générales de contrôle et de réception	115
IX.4 Système à mousse (contre l'incendie)	115
IX.5 Système de refroidissement	115
IX.6 Mise à la terre	115
IX.7 Conclusion	115

CHAPITRE X : Dimensionnement de tuyauterie

X.1 Introduction	116
X.2 La pompe	116
X.3 Les caractéristiques important de la pompe	116

X.4 Les différents types de pompe	116
X.5 Choix de la pompe	117
X.6 Calcul thermique	117
X.6.1 Données de calcul	117
X.6.2 Calcul des pertes thermique Q_p	118
X.6.3 Calcul de la puissance de chauffe Q_c	118
X.6 Choix de la tuyauterie	119
X.6.1 Nuance du matériau choisi	119
X.6.2 La vérification de la soudabilité de pipe API 5L Gr B	119
X.7 Calcul et dimensionnel de la tuyauterie	120
X.8 Pertes de charge de l'installation	120
X.8.1 Pertes de charge linéaires	120
X.8.2 Calcule perte de charge linéaire	121
X.9 Conclusion.....	121
X.1 Introduction	122
X.2 Présentation de logiciel	122
X.3 Données de calcul	122
X.4 Simulation stress d'Auto pipe de la nappe tuyauterie	122
X.5 Déformation de la tuyauterie sous l'effet de gravité	123
X.6 Déformation de la tuyauterie sous l'effet de stress	124
X.7 Déformation de la tuyauterie sous l'effet dilatation	124
X.8 Déformation de la tuyauterie sous l'effet compression	125
X.9 Résultats	125
X.10 Conclusion	126
Conclusion générale.....	127
Références bibliographiques	128

ANNEXES :

Annexe A : Conception de réservoir	I
Annexe B : Plans de fond	II
Annexe C : Plans de la robe	III

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1: Les sphères	2
Figure I. 2: Les réservoirs horizontaux.	3
Figure I. 3: Réservoirs à toit flottant.	4
Figure I. 4: Réservoirs à toit fixe.....	4
Figure I. 5: Coup de demi-réservoir à toit fixe supporté.....	4
Figure I. 6: Toit sphérique autoportant avec charpente à chevrons.	5
Figure I. 7: Schéma de principe de fabrication des bitumes par raffinage du pétrole.....	6
Figure II. 1: Diagramme de facteur d'élancement.	19
Figure II. 2: Diagramme de coefficient de pression externe.	19
Figure III. 1: Fond de réservoir sans bordure.....	26
Figure III. 2: Fond de réservoir avec bordure.	26
Figure III. 3: Format de la tôle centrale.	27
Figure III. 4 : Recouvrement des tôles centrales du fond.....	28
Figure III. 5 : Format de la tôle annulaire.	28
Figure III. 6: Assemblage de la tôle annulaire avec la 1 ère virole.....	30
Figure III. 7: Disposition en hauteur des viroles de la robe	33
Figure IV. 1: Conception de la charpente sur la robe.....	35
Figure IV. 2: Format de la tôle.....	37
Figure IV. 3: Plan de la charpente de toit.....	37
Figure IV. 4: Plan des chevrons	37
Figure IV. 5: Caractéristiques d'UPN 80	38
Figure IV. 6: Chevron d'entretoise avec UPN 80	39
Figure IV. 7: Schéma explicatif de la surface de sollicité.....	40
Figure IV. 8: Schéma statique de l'entretoise	41
Figure IV. 9: Caractéristiques d'UPN 200	44
Figure IV. 10: Chevron avec profil UPN 200	45
Figure IV. 11: Schéma statique de chevron	47
Figure IV. 12 : Surface supporté par le poteau central et modélisation du poteau central	51
Figure V. 1: Trou d'homme sur la robe.	55
Figure V. 2: Trou d'homme sur le toit.	56
Figure V. 3: Tubulures.	56
Figure V. 4: la cuvette.	57
Figure V. 5 :Schema explicatif des differets température	58
Figure V. 6: Calorifugeage.....	58
Figure V. 7: Laine de roche.....	59
Figure V. 8: Laine de verre.	59
Figure V. 9: Les déférents types des serpentins.	60
Figure V. 10: Montage d'escalier hélicoïdal d'un réservoir cylindrique.	61
Figure V. 11: Dimensionnement de l'escalier hélicoïdal.	62
Figure V. 12: Vue de l'escalier hélicoïdal.....	62
Figure V. 13: Marche de l'escalier.	63
Figure V. 14:Palier de repos.....	65
Figure V. 15: Schéma de la console.....	68
Figure VII. 1: Gand rouleuse lisse.	82

Figure VII. 2: Vue en plans.....	83
Figure VII. 3: Vue extérieur de la robe développée.....	85
Figure VII. 4: Vue en plans du toit.....	87
Figure VII. 5: Repérages des tôles marginales.....	91
Figure VII. 6: Soudage des tôles du fond.....	92
Figure VII. 7: Pointage et soudage de la première virole avec le fond.....	93
Figure VII. 8: Mise en plan de soudage des viroles.....	93
Figure VII. 9: Fixation des tôles par Chicagos.....	94
Figure VII. 10: Soudage de 1 ^{ère} virole sur le fond.....	94
Figure VIII. 1: Soudure à l'arc électrique.....	97
Figure VIII. 2: Electrode enrobé.....	98
Figure IX. 1: Application de la peinture sur la robe.....	114
Figure IX. 2: Mise à la terre.....	115
Figure X. 1: Représentation de la tuyauterie d'une nappe de la serpentine.....	123
Figure X. 2: Schéma caractérise la déformation de tuyauterie de refoulement par l'effet de gravité.....	123
Figure X. 3: Schéma caractérise la déformation de la tuyauterie de refoulement par l'effet de stresse.....	124
Figure X. 4: Schéma caractérise de la déformation de tuyauterie par l'effet dilatation.....	124
Figure X. 5: Schéma caractérise de la déformation de tuyauterie par l'effet compression.....	125

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III. 1: Données des calculs	23
Tableau III. 2: Surépaisseur de corrosion.....	24
Tableau III. 3: Caractéristiques mécanique de l'acier A283 grade c	25
Tableau III. 4: Composition chimique de l'acier A283 grade c.....	25
Tableau III. 5 : Calcul des épaisseurs théorique.....	31
Tableau III. 6: Calcul des épaisseurs hydrostatique	32
Tableau III. 7: Résultats récapitulatif des épaisseurs	32
Tableau IV. 1: Données de toit.....	36
Tableau IV. 2: Données et résultats des calculs	36
Tableau IV. 3: Caractéristiques du poteau central	50
Tableau VI. 1: Tableau Récapitulatif des résultats	70
Tableau VI. 2: Tableau Récapitulatif des résultats	75
Tableau VI. 3: Tableau Récapitulatif des résultats	76
Tableau VII. 1: Gamme fabrication du fond	84
Tableau VII. 2: Gamme de fabrication de la robe.....	86
Tableau VII. 3: Gamme de fabrication du toit.	87
Tableau VIII. 1: Caractéristique de procédé de soudage.	98
Tableau VIII. 2: Caractéristique de l'électrode.	99
Tableau VIII. 3 : Les joints de soudure.	100
Tableau VIII. 4 : Joints de soudure des tôles centrales	101
Tableau VIII. 5: Joints de soudure des tôles marginale	102
Tableau VIII. 6: Joints de soudage pied de la robe.	103
Tableau VIII. 7: Joints de soudure verticaux de 1 ère virole	104
Tableau VIII. 8: Joints de soudure verticaux des viroles 2 à 6	105
Tableau VIII. 9 : Joints de soudure de toit	106
Tableau X. 1: Caractéristique du réservoir.....	117
Tableau X. 2: Pertes thermique.	118
Tableau X. 3: Représente les compositions chimiques de garde B.....	119
Tableau X. 4: Représente les caractéristique mécanique pour garde B selon API 5L.	119
Tableau X. 5: Vitesse de fluide (huile).	120
Tableau X. 6: Coefficients et résultat des pertes de charges de refoulement linéaires	121

Introduction générale

Le développement industriel des deux siècles passés a permis de grandes avancées technologiques et une amélioration considérable du niveau de vie des populations. Le développement des machines à vapeur, l'utilisation de différentes ressources d'énergie (domaines de l'extraction minière, de la pétrochimie, du nucléaire,.....)

Le stockage de ces ressources énergétiques est non seulement nécessaire pour compenser les fluctuations d'approvisionnement dues à toutes sortes d'aléas lors de la production, du transport et du raffinage, ou les variations de la consommation, qui dépendent notamment des conditions météorologiques. Il est aussi stratégique pour assurer un minimum d'autonomie énergétique du pays consommateur.

Parmi ces moyens et techniques de stockage des sources énergétiques nous citons les bacs de stockage, ce stockage qui doit être assuré aux différentes étapes du cheminement du pétrole, depuis le puits de production jusqu'aux lieux de consommation.

Les bacs de stockage ont une importance primordiale dans l'industrie des hydrocarbures, il nous assure une pérennité de la production, et un outil important pour répondre aux besoins sociétale croissante en matière notamment d'énergie.

Problématique

Ce travail de recherche porte essentiellement sur la problématique de conception et de réalisation d'un bac de stockage à travers une étude climatique du lieu de montage de ce bac , et une étude technique détaillé comporte les calculs et les notes exigé et recommandé par les normes et les codes internationales de construction des bacs notamment le code API 650 et l'ASME section IX , et ensuite les différents phases de montage du bac avec les contrôle nécessaires.

Objectifs

Le travail présenté dans ce mémoire à pour objectif de faire une étude de conception et montage d'un bac de stockage de bitume 2000 M3 avec serpentin à l'intérieur à la région de Bejaia au profit du client **NAFTAL** branche bitume.

Notre travail est devisé en deux parties, partie théorique et partie pratique :

Dans la partie théorique, nous allons présenter les aspects fondamentaux du

La partie pratique est consacrée aux cas du projet de montage de bac de stockage

Chapitre I

Présentation de sujet

Partie théorique : présentation de sujet :

I.1 : Notions générales sur les bacs de stockage :

I.1.1 : Introduction :

Le stockage des réservoirs des différents produits du pétrole, de pétrochimie et de chimie s'effectue principalement dans les réservoirs métalliques de construction soudée.

Les réservoirs sont parmi les moyens de stockage les plus utilisés dans de nombreuses industries, notamment dans les industries pétrolières, gazières et pétrochimiques. Ils peuvent être de forme cylindrique, sphérique, ils sont aériens ou enterrés, horizontaux ou verticaux, en fonction de la nature du produit stockée, son environnement extérieur tel que les conditions climatique.

I.1.2:Types de réservoirs de stockage : (présentation et caractéristique principales) :

Les réservoirs sont classés en trois grands groupes selon la pression du fonctionnement ou de la pression interne. Les réservoirs de stockage atmosphériques qui sont utilisés pour une pression de fonctionnement ou interne de moins de **18Kpa** et gérés par l'**API standard 650**.

Les réservoirs de stockage à base pression **18Kpa <p<10Kpa** et gérés par l'**API standard 620**.

Les réservoirs sous pression dont la pression de fonctionnement ou pression interne est **P>100Kpa** est gérés par l'**ASME se VII**.

I.1.2.1 : Réservoirs sous pression :

I.1.2.1.1 : Les sphères :

Dans ce type des réservoirs, et pour ce qui concerne les raffineries, sont stockés sous pression des produits sous phase liquide tels que les propane, le butane...

Les fondations superficielles sont constituées de futs en béton localisés, isolés ou reliés entre eux par des Longines.

Elles peuvent, le cas échéant, être associées à des fondations profondes sur pieux.

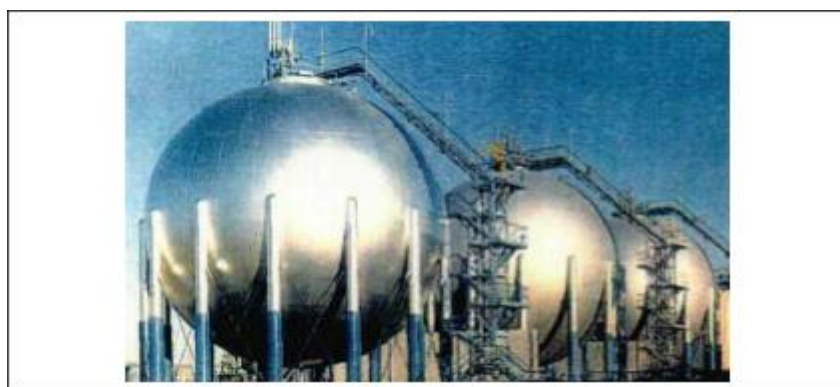


Figure I. 1: Les sphères

I.1.2.1.2 : Les réservoirs horizontaux :

Ce type de réservoirs cylindriques est susceptible de stocké les mêmes produits que les sphères dont il vient d'être question.

Les réservoirs horizontaux sont, dans le cas général, posés sur des berceaux. Il est possible de rencontrer des cas où ils sont ceinturés sur les berceaux.



Figure I. 2: Les réservoirs horizontaux.

I.1.2.2 : Réservoirs atmosphériques :

Les réservoirs atmosphériques représentent la très grande majorité du parc de réservoirs de grande capacité contenant des liquides inflammables.

Ces réservoirs sont les plus souvent :

- Métalliques : leurs fonds, leurs robes et leurs toits sont en acier.
- Verticaux : leur axe de symétrie est vertical.

Les différents réservoirs se distinguent par :

- Le type et le nombre de viroles dont ils sont constitués
- La présence ou non de raidisseurs.
- Leur fondation :
 - Une raideur ou une semelle annulaire.
 - Sur pieux ou puits
 - Réservoir simplement posé ou ancré.
- Leur toit :
 - a) **A toit flottant** : comprennent une structure flottante, directement posée sur le liquide, que l'on installe soit dans une cuve ouverte, soit dans un réservoir à toit fixe. Ces réservoirs, en raison de leur remarquable capacité à réduire les évaporations, sont réservés au stockage des produits les plus volatils.

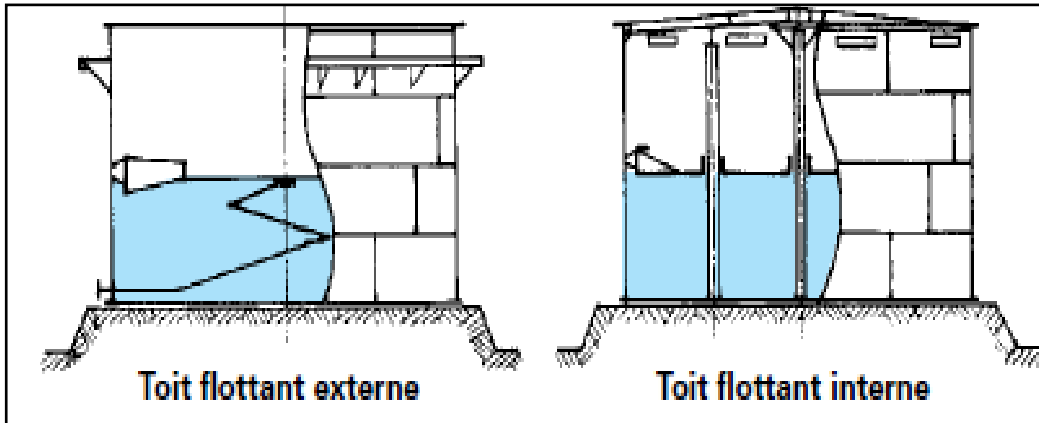


Figure I. 3: Réservoirs à toit flottant.

- b) **A toit fixe** : sont pourvus d'un toit et permettent donc une meilleure conservation des liquides volatils, dangereux ou polluants.

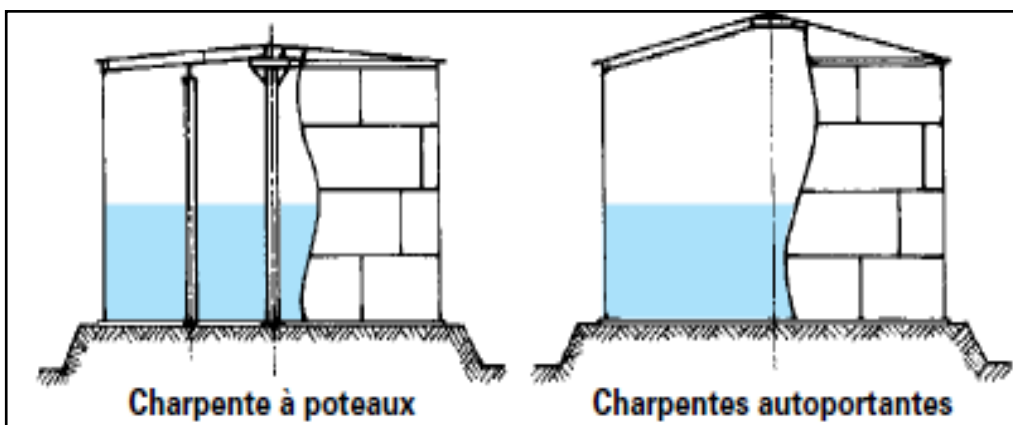


Figure I. 4: Réservoirs à toit fixe.

- c) **A 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.

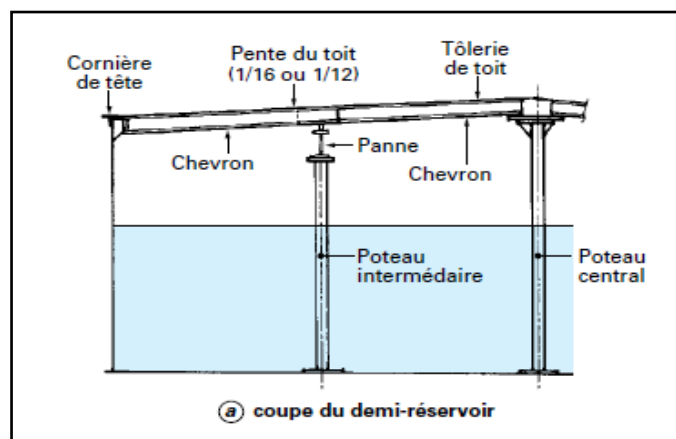


Figure I. 5: Coup de demi-réservoir à toit fixe supporté.

d) A 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.

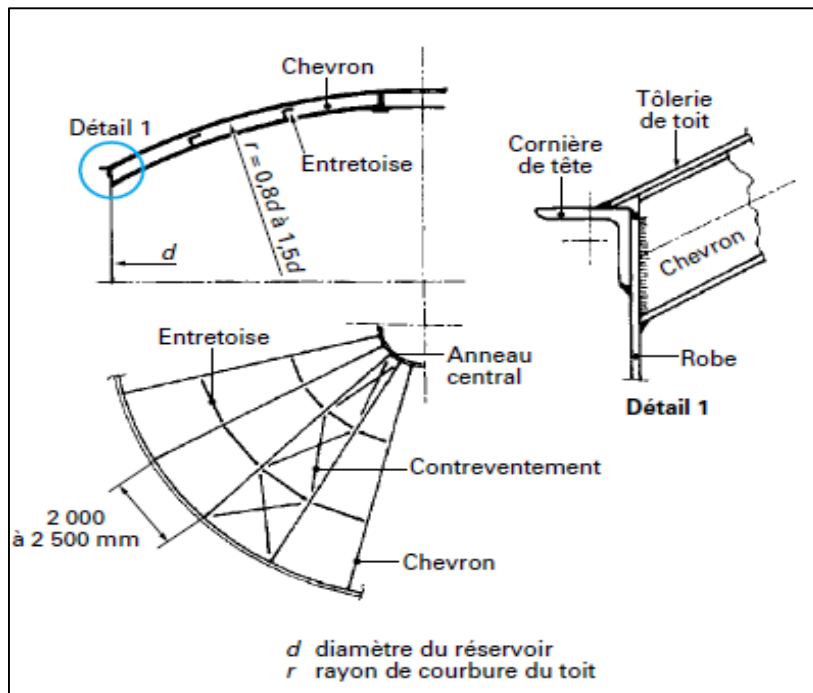


Figure I. 6: toit sphérique autoportant avec charpente à chevrons.

I.2 : Activité des bacs de stockage en Algérie :

- Activité de transport par canalisation :

Consistance du réseau de transport de l'activité TRC, comprenant 22 stc (système de transport par canalisations) d'une longueur totale de 20927Km, est composé principalement de ce qui suit :

- 21 oléoducs d'une longueur de 9946Km, avec une capacité de transport de 247.553 millions TM/an
- 18 gazoducs d'une longueur totale de 10981Km, avec une capacité de transport de 195.121 milliards de sm^3/an .
- 83 stations de pompage et de compression.
- 127 bacs de stockage de pétrole brut et de condensat, d'une capacité design de 4.2 millions de tep.
- 2 centres de dispatching liquide et gaz.
- 5 bouées de chargement de pétrole brut et condensat en mer (02 à ARZEW, 02 à Skikda et 01 à Bejaïa) de type SPM (single point mooring).

I.3 : Notion générale sur le produit stocké (le bitume) :

I.3.1 : Présentation générale :

Le bitume, à l'origine une substance naturelle rencontrée dans certaines roches, est aujourd'hui un produit industriel à forte valeur ajoutée technologique, fabriqué à la demande à partir de certains pétroles bruts. Il n'y a pas un, mais des bitumes. Leur constitution et leurs

caractéristiques reflètent celles des pétroles dont ils sont issus et des procédés techniques avec lesquels ils ont été fabriqués.

C'est un produit de couleur noir, il est visqueux dans la mesure où il est le moins raffiné des produits issus de la distillation du pétrole. Il existe également du bitume à l'état naturel, mais nécessitera une transformation pour être utilisé en tant que liant.

I.3.2 : Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole (schéma de principe) :

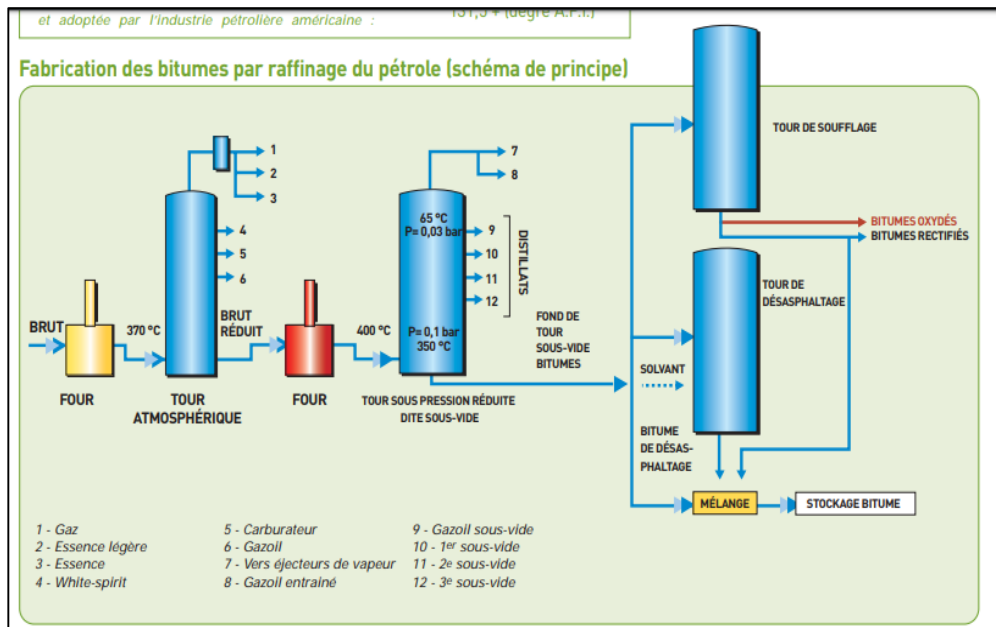


Figure I. 7: Schéma de principe de fabrication des bitumes par raffinage du pétrole.

I.4 : Présentation du lieu de stage :

I.4.1 : Présentation de l'entreprise ENCC :

L'Entreprise Nationale de Charpente et de Chaudronnerie (**ENCC**), filiale du Groupe **IMETAL**, est une Entreprise Publique Economique (EPE) sous la forme juridique de Société par actions (Spa), d'un capital social de **6 906 450 000, 00 DA**. L'ENCC intervient dans

-La Réalisation et le pilotage des projets industriels en E.P.C (Engineering, Procurèrent & Construction).

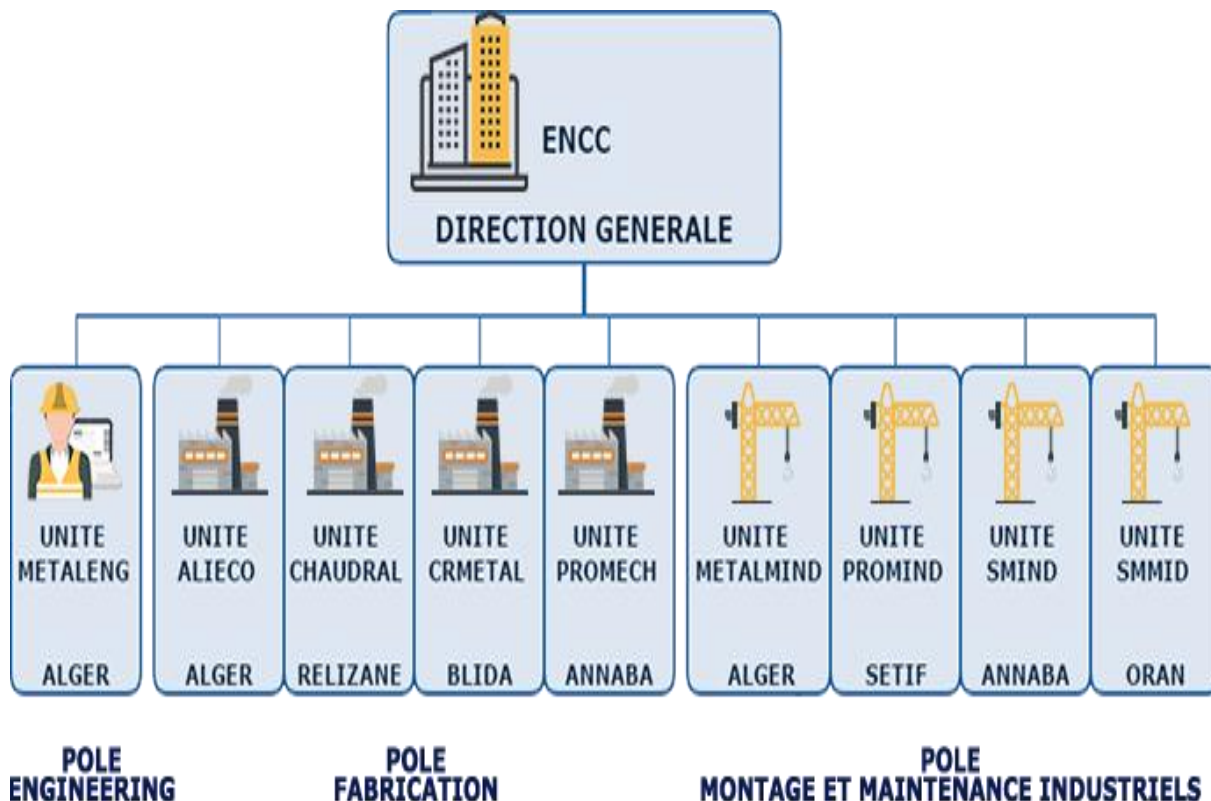
-L'Exécution des études en tous corps d'états (Génie Civil, Charpente, Mécanique, Stockage, Electricité / Instrumentation, Automatisme, etc.), de Procès et d'Expertise.

-La Fabrication de la charpente métallique, de la chaudronnerie et des Equipements Industriels Divers.

-Le Montage d'Ensembles Industriels (tous corps d'états), d'Equipements, de Bacs de stockage, de Tuyauterie, d'Electricité / Instrumentation.

-La Maintenance Industrielle.

I.4.2 : Organigramme de l'entreprise ENCC :



I.4.2.1 : L'unité HAMIZ :

a. Présentation de l'unité HAMIZ :

L'unité HAMIZ est une filiale de l'entreprise ENCC spécialisée dans la construction d'ouvrages destinés à la production, la transformation, le transport et la distribution des hydrocarbures, la construction métallique et la maintenance industrielle.

a. Domaines de compétence de l'unité HAMIZ :

Fort de son savoir-faire inégalé, l'unité HAMIZ intervient principalement dans :

- Le montage d'ensembles industriels d'équipements, de tuyauterie Industrielle et d'instrumentation.
- La maintenance industrielle.
- Le montage de la charpente métallique.
- La Chaudronnerie (le montage des équipements de stockage comme cuves, bacs, silos, cheminées, colonnes).
- Le montage des équipements de levage et de manutentions (ponts roulants.....etc.).
- Chaudières (montage des chaudières à vapeur, échangeurs de chaleur.....).

b. Moyens Humaines et matériels :

Afin de répondre efficacement aux exigences du marché et les attentes des clients, l'unité HAMIZ s'est dotée d'un outil de production très performant et d'une organisation interne très pointue.

L'unité HAMIZ dispose d'importantes compétences humaines et Logistiques qui permettent de répondre à toutes les exigences du marché.

c. L'activité de montage des bacs de stockage :

L'unité HAMIZ donne une grande importance aux travaux de chaudronnerie et particulièrement l'activité de montage des bacs de stockage qui représente une partie important du chiffre d'affaire de l'unité.

I.5. Conclusion :

Les **réservoirs de stockage** à température ambiante constituent la presque totalité des capacités qui forment les parcs de stockage, car, à l'évidence, ils représentent la solution logique et naturelle pour stocker les liquides : les produits sont conservés dans l'état physique où la température du site les maintient.

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

Lorsque celle-ci est inférieure à la pression atmosphérique, aucune pression effective n'existe dans l'enceinte de stockage et on peut alors mettre en œuvre des **réservoirs atmosphériques**.

Si, au contraire, cette pression de vapeur est supérieure à la pression atmosphérique, la capacité de stockage est soumise à une pression interne. C'est toujours le cas pour les liquides dont la température au point normal d'ébullition est inférieure à la température ambiante. Pour ces produits, il est alors nécessaire de s'orienter vers des **réservoirs sous pression**, étudiés et conçus pour résister à cette contrainte.

Chapitre II

Etude climatique

II.1 Introduction

Les réservoirs à toit fixe sont des bacs aériens, ce qui nécessite une étude globale aux effets d'environnements afin d'éliminer la défaillance de la structure lors d'une surcharge qui sera imposé par l'effet de vent et de neige.

II.2 Étude du vent

- Zone d'implantation Bejaia.
- Vitesse de vent : 130 Km/h \rightarrow 36,11 m/s
- Catégorie de construction : 06.
- Catégorie de terrain : IIa.

II.2.1 Principes de calcul

- Le calcul doit être effectué séparément pour chacune des directions perpendiculaires à différentes parois de la construction ;
- Les actions du vent sont proportionnelles à la projection de la surface considérées dans un plan perpendiculaire à la direction du vent, appelée maitre-couple ;
- pour la détermination de l'action du vent, on distingue la catégorie **IIa** : cette catégorie regroupe l'ensemble des bâtiments et les ouvrages de stockage (réservoirs, châteaux d'eau, silos ...etc.).

▪ Charge de vent

Coefficient de site : $k_s = 1,3$.

Coefficient de masque \Rightarrow pas d'effet de masque $\Rightarrow k_m = 1$

Coefficient de majoration : $\beta = 1$.

Coefficient de réduction δ des pressions dynamiques :

$h = 14,4 < 30m \Rightarrow \delta = 0,81$ (NV65 Pag : 48).

Le cas le plus défavorable au vent est quand le réservoir est vide :

$$q = \frac{V^2}{16,3} = 79,99 \text{ daN/m}^2.$$

D'après (NV65 Page 28 sur 224) ; $q = 2,5q \frac{h+18}{h+60}$

$$q = 2,5q \frac{h+18}{h+60} = 2,5 \cdot 79,99 \frac{14,4+18}{14,4+60} = 87,08 \text{ daN/m}^2.$$

Donc :

$$Q_v = q_h \cdot k_s \cdot k_m \cdot C \cdot \delta \cdot \beta = 79,99 \times 1,3 \times 1 \times 1,15 \times 0,81 \times 1 = 118,66 \text{ daN/m}^2.$$

$$\mathbf{Q_v = 118,66 \text{ daN/m}^2}$$

II.2.2 Vérification à la stabilité d'ensemble d'une construction

II.2.2.1 Calcul du coefficient dynamique C_d

Le coefficient dynamique C_d est donné d'après RNV99 (page 95) par l'expression suivant :

$$C_d = \frac{1 + 2 \times I_V(Z_{eq}) \times \sqrt{Q_0^2 + R_X^2}}{1 + 2 \times g \times I_V(Z_{zq})}$$

Avec :

Z_{eq} : est la hauteur équivalente de la construction (m) ;

$I_V(Z_{eq})$: L'intensité de la turbulence ;

Q_0^2 : La partie quasi-statique ;

R_X^2 : La partie résonnante ;

g : Le facteur de pointe.

- **Hauteur équivalente**

La hauteur équivalente Z_{eq} est donnée d'après RNV99 (page 95 tableau A4.1.c) par l'expression

Suivant :

$$\begin{aligned} D/h_1 &< 0,5 ; H_r/h_1 \leq 0,5 \\ Z_{eq} &= \text{Max} [h_1 + H_r/2 ; Z_{min}] \\ Z_{min} &= 4m \\ Z_{eq} &= \text{Max} [0 + 14,4/2 ; 4] = 7,2 m \end{aligned}$$

Avec :

Z_{min} : Hauteur minimal (m) ;

D : La dimension de la construction perpendiculairement au vent (le diamètre) (m) ;

H_r : La hauteur de la construction (m) ;

h_1 : La distance entre niveau 0 de la mère et le fond de réservoir (m).

- **Intensité de la turbulence**

D'après RNV99 (page 96) l'intensité de la turbulence $I_V(Z)$ à une hauteur Z est donnée par :

$$I_V(Z) = \frac{1}{C_t(Z) \times \ln \frac{Z}{Z_0}}$$

On a :

$C_t = 1,15$; $Z = Z_{eq} = 7,2$ m et $Z_0 = 0,05$.

$$I_V(Z) = \frac{1}{1,15 \times \ln \frac{7,2}{0,05}} = 0,17m$$

Ou :

$C_t(\mathbf{Z})$: Le coefficient de topographie d'après RNV99 (tableau 2.5 page 48) ;

Z_0 : Le paramètre de rugosité d'après RNV99 (tableau 2.4 page 47) ;

Z : La distance verticale mesurée à partir du niveau du sol au lieu considéré.

- **Partie quasi-statique**

La partie quasi-statique de la réponse Q_0^2 est donnée d'après RNV99 (page 96) par la formule suivante :

$$Q_0^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{(D+H)}{L_i(Z_{eq})} \right)^{0,63}}$$

L'échelle de turbulence $L_i(\mathbf{Z})$ en mètre est définie comme suit :

$$L_i(\mathbf{Z}) = 300 * (\mathbf{Z}/300)^\varepsilon \text{ pour } Z_{\min} \leq \mathbf{Z} \leq 200$$

$$L_i(\mathbf{Z}) = 300 * (7,2/300)^{0,26} = 113,75 \text{m.}$$

Avec :

ε : Coefficient utilisé pour le calcul du coefficient C_d selon RNV99 (page 47 tableau 2.4) ;

Z_{\min} : la hauteur minimale en (m) selon RNV99 (page 47 tableau 2.4) ;

D : Le diamètre de réservoir (m) ;

H : La hauteur maximale du réservoir (m).

$$Q_0^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{(14,90+14,40)}{113,75} \right)^{0,63}} = 1$$

- **Partie résonnante**

La partie résonnante de la réponse R_X^2 est définie selon RNV99 (page 96) comme suit :

$$R_X^2 = \frac{\pi^2}{2 \times \delta} \times R_N \times R_h \times R_b$$

R_N : La fonction adimensionnelle de la densité spectrale de puissance ;

δ : Le décrement logarithmique d'amortissement des vibrations dans la direction du vent ;

R_h et R_b : Les fonctions d'admittance aérodynamique.

La fonction adimensionnelle de la densité spectrale R_N est donnée selon RNV99 (page 97) par :

$$R_N = \frac{6,8 \times N_x}{(1 + (10,2 \times N_x))^{5/3}}$$

N_x : La fréquence adimensionnelle dans la direction X du vent.

La fréquence adimensionnelle dans la direction X du vent d'après RNV99 (page 97) :

$$N_x = \frac{n_{1,x} \times L_i(Z_{eq})}{V_m(Z_{eq})}$$

Avec :

$n_{1,x}$: La fréquence fondamentale de vibration en flexion dans la direction \mathbf{X} du vent se calcule d'après RNV99 (page 97 tableau A4.2) (Hz) ;

$Li(\mathbf{Z}_{eq})$: L'échelle intégrale de turbulence pour $\mathbf{Z} = \mathbf{Z}_{eq}$;

$V_m(\mathbf{Z}_{eq})$: La vitesse moyenne du vent pour $\mathbf{Z} = \mathbf{Z}_{eq}$ (m/s).

Le calcul de la fréquence fondamentale de flexion $n_{1,x}$:

$$n_{1,x} = \frac{\sqrt{D}}{0,1 \times H}$$

Avec :

D : Le diamètre du réservoir (m) ;

H : La hauteur maximale du réservoir (m).

$$n_{1,x} = \frac{\sqrt{14,90}}{0,1 \times 14,40} = 2,68 \text{ Hz}$$

Le calcul de la vitesse moyenne du vent :

$$V_m(\mathbf{Z}_{eq}) = C_r(\mathbf{Z}) \times C_t(\mathbf{Z}) \times V_{réf}$$

On a :

$$C_t = 1,15; V_{réf} = 25 \text{ m/s}$$

Avec :

$C_r(\mathbf{Z})$: Coefficient de rugosité ;

$C_t(\mathbf{Z})$: Le coefficient de topographie d'après mv99 (tableau 2.5 page 48) .

Calcul de coefficient de rugosité:

$$\begin{cases} C_r = K_t \times \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \text{ pour } Z_{min} \leq Z \leq 200 \text{ m} \\ C_r = K_t \times \ln\left(\frac{Z_{min}}{Z_0}\right) \text{ pour } Z < Z_{min} \end{cases}$$

On a : $Z_{min} \leq Z \leq 200 \text{ m}$

Avec :

K_t : Le facteur de terrain ;

Z : La hauteur considérée (m) ;

Z_0 : Le paramètre de rugosité (m).

$$\Rightarrow C_r = 0,19 \times \ln\left(\frac{14,4}{0,05}\right) = 1,07$$

$$\Rightarrow V_m(\mathbf{Z}_{eq}) = 1,07 \times 1,15 \times 25 = 30,76 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow N_x = \frac{2,68 \times 113,75}{30,76} = 9,91 \text{ Hz.s}$$

$$\Rightarrow R_N = \frac{6,8 \times 9,91}{(1 + 10,2 + 9,91)^{5/3}} = 0,41$$

Le calcul des fonctions d'admittances aérodynamique R_h et R_b :

Les formules de ces fonctions sont données selon RNV99 (page 99) par les expressions suivantes :

$$\begin{cases} R_b \text{ ou } R_h = \left(\frac{1}{\eta}\right) - \left(\frac{1}{2 \times \eta^2}\right) \times (1 - e^{-2\eta}) \text{ pour } \eta > 0 \\ R_h \text{ ou } R_b = 1 \text{ pour } \eta = 0 \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{4,6 \times N_x \times D}{L_i(Z_{eq})} = \frac{4,6 \times 9,91 \times 14,9}{113,75} = 5,97 \\ \Rightarrow R_b &= \left(\frac{1}{\eta}\right) - \left(\frac{1}{2 \times \eta^2}\right) \times (1 - e^{-2\eta}) = \left(\frac{1}{5,97}\right) - \left(\frac{1}{2 \times 5,97^2}\right) \times (1 - e^{(-2 \times 5,97)}) \\ &\rightarrow R_b = 0,153 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{4,6 \times N_x \times H}{L_i(Z_{eq})} = \frac{4,6 \times 9,91 \times 14,4}{113,75} = 5,77 \\ \Rightarrow R_H &= \left(\frac{1}{\eta}\right) - \left(\frac{1}{2 \times \eta^2}\right) \times (1 - e^{-2\eta}) = \left(\frac{1}{5,77}\right) - \left(\frac{1}{2 \times 5,77^2}\right) \times (1 - e^{(-2 \times 5,77)}) \\ &R_H = 0,158 \end{aligned}$$

Le calcul de Le décrétement logarithmique d'amortissement des vibrations dans la direction du vent δ selon RNV99 (page 98) par la formule suivante :

$$\delta = \delta_S + \delta_a$$

Avec :

δ_S : Le décrétement logarithmique d'amortissement structural ;

δ_a : Le décrétement logarithmique d'amortissement aérodynamique.

$$\delta_S = (a_1 \times n_{1,x}) + b_1 \text{ avec } \delta_S > \delta_{min}$$

On a d'après RNV99 (page 98 tableau A4.3) :

$$a_1 = 0; b_1 = 0,025; \delta_{min} = 0.$$

$$\Rightarrow \delta_S = (a_1 \times n_{1,x}) + b_1 = 0,025 > 0$$

$$\delta_a = \frac{\rho \times b \times C_f}{2 \times n_{1,x} \times m_{1,x}} \times V_m(Z_{eq})$$

Avec :

ρ : La masse volumique de l'air (Kg/m^3) ;

b : La dimension de la construction perpendiculaire au vent (veut dire la hauteur du réservoir) (m) ;

C_f : Le coefficient de force ;

$n_{1,x}$: La fréquence fondamentale de vibration en flexion dans la direction \mathbf{X} du vent se calcule d'après RNV99 (page 97 tableau A4.2) (\mathbf{Hz}) ;

$m_{1,x}$: La masse équivalente par unité de longueur ($\mathbf{Kg/m}$) ;

$V_m(\mathbf{Zeq})$: La vitesse moyenne du vent pour $\mathbf{Z} = \mathbf{Zeq}$ ($\mathbf{m/s}$).

$$C_f = C_{f,0} \times \Psi_\lambda \times \Psi_r$$

Avec :

$C_{f,0}$: Le coefficient de force des constructions en considérant un élancement effectif infini ;

Ψ_λ : Le facteur d'élancement défini selon RNV99 (page 55 figure 4.1) ;

Ψ_r : Le facteur de correction du coefficient de force.

On a $\Psi_r = 1$ pour l'ensemble de construction, mais non pas pour les constructions à base rectangulaires à angles arrondis.

Pour déterminer Ψ_λ il faut d'abord calculer l'élancement effectif λ_e selon RNV99 (page 56 tableau 4.1) par la formule suivant :

$$\lambda_e = \frac{L}{l} = \frac{D}{H} = \frac{14,9}{14,4} = 1,03$$

Avec :

D : Le diamètre du réservoir (\mathbf{m}) ;

H : La hauteur du réservoir (\mathbf{m}).

$$\Rightarrow \Psi_\lambda = 0,6$$

La détermination du coefficient de force $C_{f,0}$ est selon RNV99 (page 57 figure 4.3) :

On a :

$$\frac{D}{H} = \frac{14,9}{14,4} = 1,03$$

$$\Rightarrow C_{f,0} = 2,1$$

$$\Rightarrow C_f = C_{f,0} \times \Psi_\lambda \times \Psi_r = 2,1 \times 0,6 \times 1 = 1,26$$

$$C_f = 1,26$$

Le calcul de la masse équivalente $m_{1,x}$ selon RNV99 (page 93 article 6.3.2) :

$$m_{1,x} = \frac{\int_0^H m \times \phi_1^2(Z). dz}{\int_0^H \phi_1^2(Z). dz}$$

Avec :

m : La masse par unité de longueur ($\mathbf{Kg/m}$) ;

H : La hauteur du réservoir (\mathbf{m}) ;

ϕ_1^2 : La déformée pour le mode fondamental.

Le calcul de la déformée pour le mode fondamental est selon RNV99 (page 94 article 6.3.3) par la formule :

$$\phi_1^2 = \left(\frac{Z}{H}\right)^\zeta$$

On a : $Z = H$

Avec :

Z : La hauteur par rapport au sol (m) ;

H : La hauteur du réservoir (m).

$$\Rightarrow \phi_1^2 = \left(\frac{Z}{H}\right)^\zeta = 1$$

Avec :

$M_{totaleR}$: La masse totale de la robe (Kg).

$$\Rightarrow m_{1,x} = \frac{\int_0^H m \times \phi_1^2(Z) \cdot dz}{\int_0^H \phi_1^2(Z) \cdot dz} = m \times \frac{\int_0^H \phi_1^2(Z) \cdot dz}{\int_0^H \phi_1^2(Z) \cdot dz} = m = \frac{M_{totaleR}}{H} = \frac{202707,096}{14,4}$$

$$\Rightarrow m_{1,x} = 14076,88(Kg/m)$$

$$\Rightarrow \delta_a = \frac{\rho \times b \times C_f}{2 \times n_{1,x} \times m_{1,x}} \times V_m(Z_{eq}) = \frac{1,2 \times 14,4 \times 1,26}{2 \times 2,68 \times 14076,88} \times 30,76 = 0,008$$

$$\Rightarrow \delta = \delta_s + \delta_a = 0,025 + 0,008 = 0,033$$

$$\delta = 0,033$$

$$\Rightarrow R_X^2 = \frac{\pi^2}{2 \times \delta} \times R_N \times R_h \times R_b = \frac{\pi^2}{2 \times 0,033} \times 0,41 \times 0,158 \times 0,153 = 1,48$$

$$\Rightarrow R_X^2 = 1,48$$

Le calcul du facteur de pointe g selon RNV99 (page 99 article 5.1) par l'expression suivante :

$$g = \sqrt{2 \times \text{Ln}(v \times t)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \text{Ln}(v \times t)}}$$

Avec :

v : La fréquence moyenne (Hz) ;

t : La durée sur laquelle est établie la vitesse de référence.

On a : $t = 600 s$.

Le calcul de la fréquence moyenne selon RNV99 (page 100 article 5.2) par l'expression suivante :

$$v = \sqrt{\frac{v_0^2 \times Q_0^2 \times n_{1,x}^2 \times R_x^2}{Q_0^2 + R_x^2}}$$

Avec :

v_0^2 : La fréquence moyenne de l'effet des rafales de vents sur les structures rigides (Hz) ;

Q_0^2 : La partie quasi-statique ;

$n_{1,x}$: La fréquence fondamentale de vibration en flexion dans la direction **X** du vent se calcule d'après RNV99 (page 97 tableau A4.2) (Hz) ;

R_x^2 : La partie résonnante de la reponse.

Le calcul de la fréquence moyenne de l'effet des rafales de vents sur les structures rigides v_0^2 selon RNV99 (page 100 article 5.2) utilisons la formule suivante :

$$v_0 = \frac{V_m(Z_{eq})}{L_i(Z_{eq})} \times \frac{1}{1,11 \times S^{0,615}}$$

$$S = 0,46 \times \left(\frac{D + H}{L_i(Z_{eq})} \right) + 10,58 \times \left(\frac{\sqrt{D \times H}}{L_i(Z_{eq})} \right)$$

Avec :

D, H : Sont le diamètre et la hauteur du réservoir (m) ;

$V_m(Z_{eq})$: La vitesse moyenne du vent pour $Z = Z_{eq}$ (m/s) ;

$L_i(Z_{eq})$: L'échelle intégrale de turbulence pour $Z = Z_{eq}$.

$$\begin{aligned} S &= 0,46 \times \left(\frac{D + H}{L_i(Z_{eq})} \right) + 10,58 \times \left(\frac{\sqrt{D \times H}}{L_i(Z_{eq})} \right) \\ &= 0,46 \times \left(\frac{14,9 + 14,4}{113,75} \right) + 10,58 \times \left(\frac{\sqrt{14,9 \times 14,4}}{113,75} \right) = 0,62 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow v_0 = \frac{V_m(Z_{eq})}{L_i(Z_{eq})} \times \frac{1}{1,11 \times S^{0,615}} = \frac{30,76}{114,97} \times \frac{1}{1,11 \times 1,39^{0,615}} = 0,19$$

$$\Rightarrow v_0 = 0,19 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{v_0^2 \times Q_0^2 \times n_{1,x}^2 \times R_x^2}{Q_0^2 + R_x^2}} = \sqrt{\frac{0,19 \times 1 \times 2,68 \times 0,30}{1 + 0,30}} = 0,11 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow g &= \sqrt{2 \times \ln(v \times t)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \ln(v \times t)}} \\ &= \sqrt{2 \times \ln(0,11 \times 600)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \ln(0,11 \times 600)}} \end{aligned}$$

$$g = 3,10$$

Donc le calcul du coefficient de stabilité s'effectue comme suite :

$$C_d = \frac{1 + 2 \times I_V(Z_{eq}) \times \sqrt{Q_0^2 + R_X^2}}{1 + 2 \times g \times I_V(Z_{zq})} = \frac{1 + 2 \times 0,17 \times \sqrt{1 + 1,48}}{1 + 2 \times 3,10 \times 0,17} = 0,74$$

$$C_d = 0,74$$

Donc $C_d = 0,67 < 1,2$, alors la structure sera considéré peu sensible aux excitations dynamiques selon RNV99 (page 37 article 3.2).

II.2.2.2 La pression dynamique $q_{dyn}(Z)$

La pression dynamique $q_{dyn}(Z)$ selon RNV99 (page 45 article 3.2) pour une structure permanent se calcule par la formule suivante :

$$q_{dyn}(Z) = q_{réf} \times C_e(Z)$$

Avec :

$q_{réf}$: Est la pression dynamique de référence pour les constructions permanentes dont la durée de vie est supérieure à 5 ans (N/m^2) ;

$C_e(Z)$: Est le coefficient d'exposition au vent.

On a selon rnv99 (tableau 2.3) $q_{réf} = 375 N/m^2$.

Le calcul de coefficient d'exposition :

Le coefficient d'exposition au vent $C_e(Z)$ tient compte des effets de rugosité du terrain, de la topographie du site et la hauteur au-dessus du sol. En outre, il tient compte de la nature turbulente du vent.

Selon RNV99 (article 3.3.2) pour une structure peu sensible aux excitations dynamique le calcul de $C_e(Z)$ s'effectue par la formule suivante :

$$C_e(Z) = C_t(Z)^2 \times C_r(Z)^2 \times \left[1 + \frac{7 \times K_T}{C_r(Z) \times C_t(Z)} \right]$$

Avec :

C_r : Est le coefficient de rugosité ;

C_t : Est le coefficient de topographie ;

K_T : Facteur de terrain.

$$\Rightarrow C_e(Z) = C_t(Z)^2 \times C_r(Z)^2 \times \left[1 + \frac{7 \times K_T}{C_r(Z) \times C_t(Z)} \right] = 1,15^2 \times 1,07^2 \times \left[1 + \frac{7 \times 0,19}{1,15 \times 1,07} \right]$$

$$\Rightarrow C_e(Z) = 3,15$$

$$\Rightarrow q_{dyn}(Z) = q_{réf} \times C_e(Z) = 375 \times 3,15 = 1181,15 N/m^2$$

$$\Rightarrow q_{dyn}(Z) = 1181,15 daN/m^2$$

II.2.2.3 Le calcul de coefficient de la pression externe C_{pe}

Le coefficient de pression dépend de Reynolds R_e qui se calcule selon RNV99 (page 87 article 1) par la formule suivante :

$$R_e = \frac{V_m(Z) \times D}{\nu}$$

Avec :

$V_m(Z)$: La vitesse moyenne (m/s) ;

D : Le diamètre de réservoir (m) ;

ν : La viscosité cinématique de l'air (m²/s).

$$\Rightarrow R_e = \frac{V_m(Z) \times D}{\nu} = \frac{30,76 \times 14,9}{15 \times 10^{-6}} = 3,055.10^7$$

Le coefficient de pression extérieur est donné selon RNV99 (page 75 article 1.2.1.2) :

$$C_{pe} = C_{p,0} \times \Psi_{\lambda\alpha}$$

$$\Psi_{\lambda\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_A \\ \Psi_\lambda & \text{pour } 360^\circ - \alpha_A \leq \alpha \leq 360^\circ \\ \Psi_\lambda & \text{pour } \alpha_A \leq \alpha \leq 360^\circ - \alpha_A \end{cases}$$

Avec :

$C_{p,0}$: Le coefficient de pression extérieur pour un élanement infini défini par un angle de rotation α pour différents nombres de Reynolds ;

$\Psi_{\lambda\alpha}$: Le facteur d'élanement ;

α_A : Le point de décollement de l'écoulement.

La détermination de coefficient de pression extérieur est selon RNV99 (page 55 article 1.2) avec $\varphi = 1$ pour les constructions fermés en fonction de l'élanement effectif $\lambda_e = 3,5$ suivant la figure suivante :

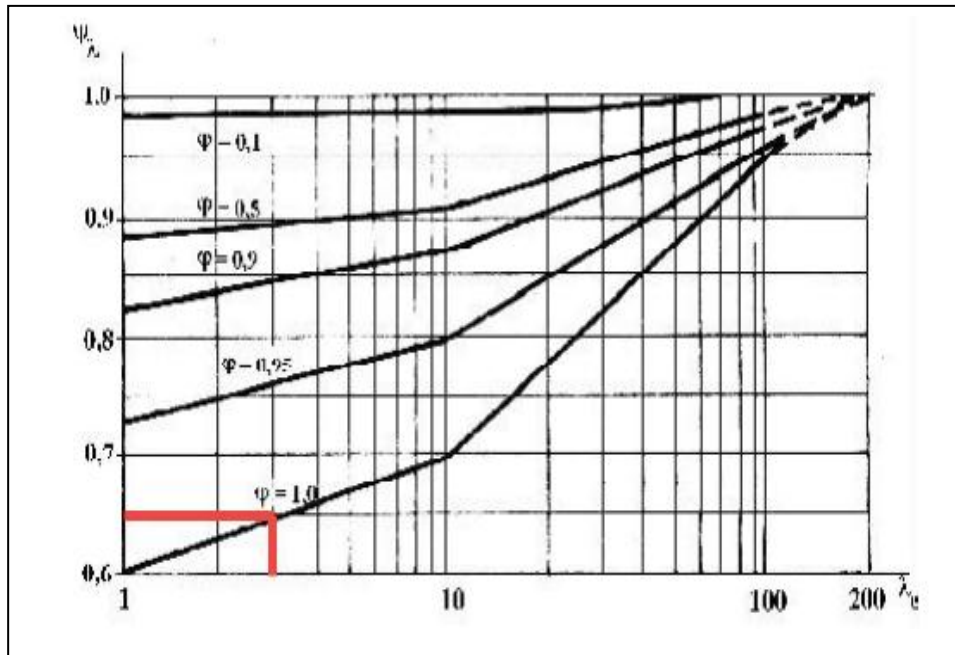


Figure II. 1: Diagramme de facteur d'élanement.

$$\Rightarrow \Psi_\lambda = 0,6$$

On détermine $C_{p,0}$ selon RNV99 (page 75 article 1.2.1.2) utilisons la figure suivante :

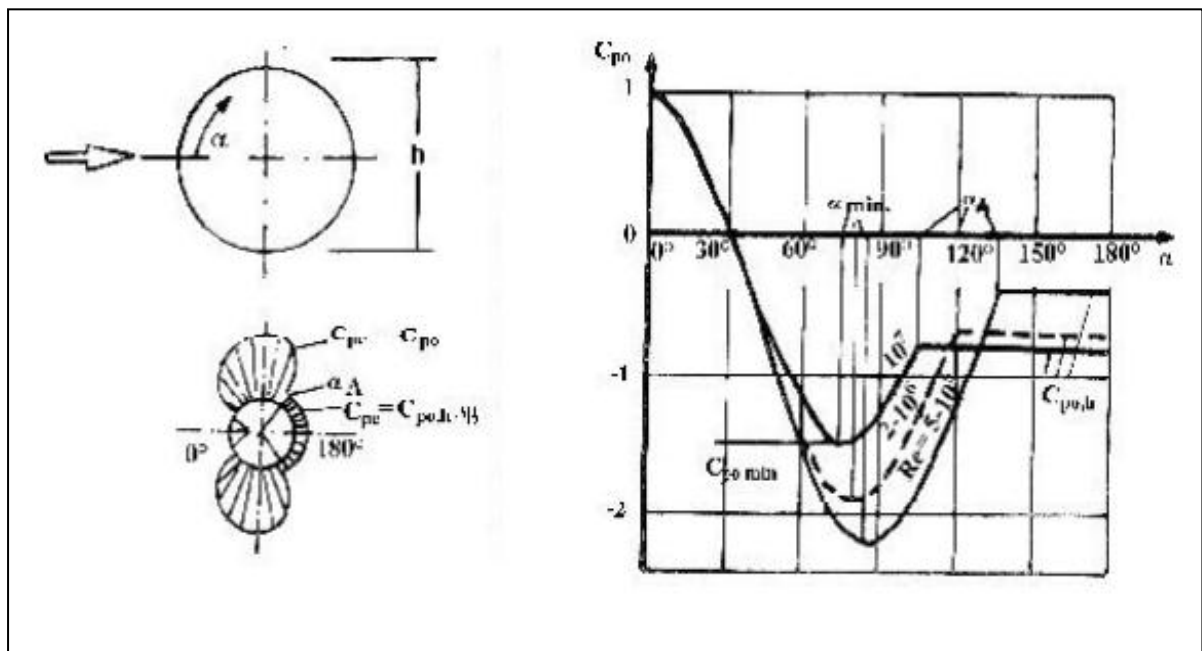


Figure II. 2: Diagramme de coefficient de pression externe.

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{p,0} = 1 \text{ pour } \alpha = 0^\circ \\ C_{p,0} = 0 \text{ pour } \alpha = 30^\circ \\ C_{p,0} = -1 \text{ pour } \alpha = \alpha_{min} = 85^\circ \\ C_{p,0} = -0,9 \text{ pour } \alpha_{min} < \alpha < 180^\circ \end{array} \right.$$

Selon RNV99 (page 75 article 1.2.1.2) le coefficient de pression externe se calcule on utilise la formule suivante :

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} C_{pe} = C_{p,0} \times \Psi_{\lambda\alpha} \\ \text{pour } \left\{ \begin{array}{l} 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_A \\ 360^\circ - \alpha_A \leq \alpha \leq 360^\circ \end{array} \right. \\ \Rightarrow C_{pe} = C_{p,0} \times \Psi_{\lambda\alpha} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ pour } \alpha = 0^\circ \\ 0 \text{ pour } \alpha = 30^\circ \\ -1 \text{ pour } \alpha = \alpha_{min} = 70^\circ \\ -0,9 \text{ pour } \alpha_{min} < \alpha < \alpha_a \end{array} \right. \\ \text{pour } \alpha_A \leq \alpha \leq 360^\circ - \alpha_A \\ \Psi_{\lambda\alpha} = \Psi_\lambda = 0,65 \text{ pour } \alpha > 95 \\ \Rightarrow C_{pe} = C_{p,0} \times \Psi_{\lambda\alpha} = -0,9 \times 0,65 = -0,6 \end{array} \right.$$

II.2.2.4 Le calcul de coefficient de pression intérieure C_{pi}

Selon RNV99 (page 79 article 2.2.3) $C_{pi} = 0$ pour le cas des ouvrages de stockage.

II.2.2.5 Détermination de la pression due au vent

La pression due au vent q_j qui s'exerce sur un élément de surface j est donnée selon RNV99 (page 40 article 1.2.2.1) par la formule suivante :

$$q_j = C_d \times W_{(z_j)}$$

Avec :

C_d : Le coefficient dynamique de la construction ;

$W_{(z_j)}$: La pression nette exercé sur l'élément de surface j , calculer à la hauteur (Z_j) (N/m) .

La pression nette se calcule selon rnv99 (page 40 article 1.2.2.2) par la formule suivante :

$$W_{(z_j)} = q_{dyn}(Z_j) \times [C_{pe} \times C_{pi}]$$

Avec :

q_{dyn} : La pression dynamique du vent (N/m) ;

C_{pe} : Le coefficient de pression extérieure ;

C_{pi} : Le coefficient de pression intérieure.

$$\begin{aligned} W_{(z_j)} &= q_{dyn}(Z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}] = 1181,15 \times [1 - 0] = 1181,15 \text{ daN/m}^2 \\ \Rightarrow q_j &= C_d \times W_{(z_j)} = 0,67 \times 1181,15 = 791,37 \text{ daN/m}^2 \Rightarrow q_j = 791,37 \text{ daN/m}^2 \end{aligned}$$

II.3 Étude de neige

Donnée de calcul :

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

II.3.1 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 :

$$S = \mu \times S_k$$

Avec :

S_k : La charge de neige sur le sol en fonction de l'altitude (KN/m^2) ;

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

La charge de la neige sur le sol :

$$S_k = \frac{0,07 \times H_{altitude} + 15}{100}$$

Avec :

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

$$\Rightarrow S_k = \frac{0,07 \times H_{altitude} + 15}{100} = \frac{0,07 \times 0 + 15}{100} = 0,15 \text{ KN/m}^2$$

II.3.2 Le 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 **1,6%** ce qui implique un angle $\alpha = 3,58^\circ$ donc $\mu = 0,8$ selon RNV99 (page 19 tableau 6.3).

$$\Rightarrow S = \mu \times S_k = 0,8 \times 0,15 = 0,12 \text{ KN/m}^2$$

II.4 Conclusion

Afin d'augmenter la stabilité de notre structure on a bien évidemment réalisé une étude d'environnement qui prend en compte l'effet du vent et de neige.

Chapitre III

Etude de fond et de la robe

III.1 Introduction : (Partie pratique)

La robe du réservoir doit résister aux contraintes développées par la pression hydraulique du liquide stocké. Elle est constituée de rangées des tôles rectangulaires superposées, qui sont soudée bout à bout, les joints verticaux des tôles sont généralement décalés à chaque changement de virole pour assurer une bonne résistance du réservoir.

Le fond du réservoir a une fonction principale d'étanchéité et assure le transfert de la charge verticale, produite par le liquide stocké. Sur la fondation. La partie centrale du fond n'est donc pas soumise à des contraintes mécaniques de tension. Par contre, la bordure périphérique, placée sous la robe et soudée à celle-ci, est fortement sollicitée par la pression hydrostatique horizontale qui agit au bas de la robe. Le fond peut être plat ou légèrement conique avec une pente au moins égale à 0.2% orientée vers le haut ou vers le bas.

III.2 Données de Calculs :

Tableau III. 1: données des calculs

Paramètre	Données sélectionnées
Fond	pente 1 :100
Ecran flottant	NON
Capacité du réservoir	2000m ³
Diamètre du réservoir	14.9 m
Hauteur du réservoir	14.4 m
Produit stocké	Bitume 40/50
Densité produit (d)	1.1
Pression de calcul	Atmosphérique
Température de calcul	200° C
Vitesse du vent	130 km/h
Séisme	Oui
Zone sismique et groupe	Zone IIA, Groupe 1A.
Neige	Oui
Zone de neige	Zone A

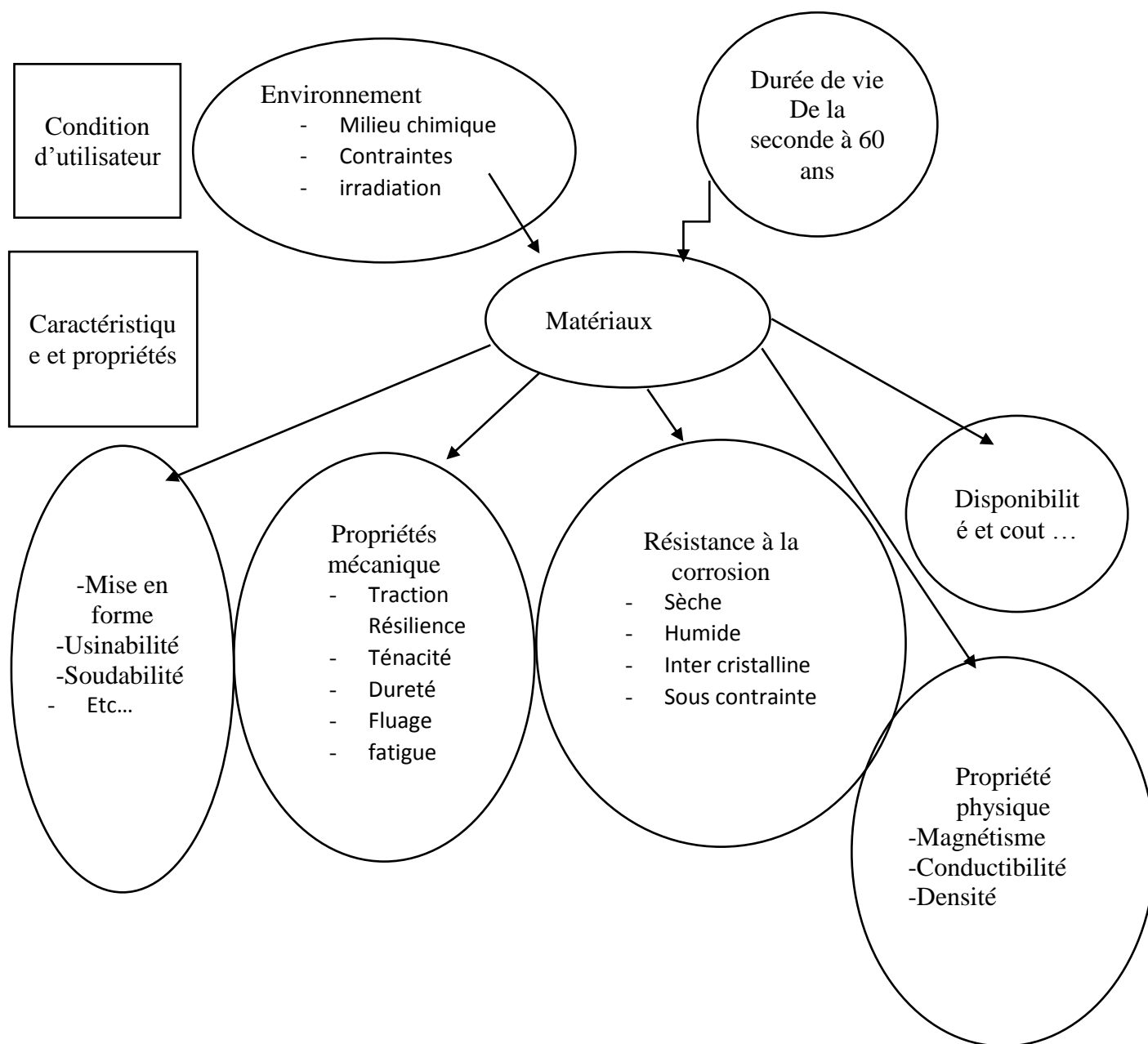
Tableau III. 2: Surépaisseur de corrosion

Fond	3mm
Robe Première virole	3mm
Robe virole 2, 3, 4, 5, et 6.	1mm

Matériaux Utilisés :

Tôle de : Fond, Robe, marginale et Toit : A 283 Grade C

III.3 Critères de choix d'un matériau :



III.4 Soudabilité de l'acier: acier A283 grade c :

- **Caractéristiques mécanique :**

Tableau III. 3: Caractéristiques mécanique de l'acier A283 grade c

Matériau	Résistance à la rupture (MPa)	Résistance à la traction élastique minimale (MPa)
acier A283 grade c	380	205

- **Composition chimique :**

Tableau III. 4: Composition chimique de l'acier A283 grade c

Matériau	C _{max} %	Mn _{max} %	Cu _{max} %	P _{max} %	S _{max} %	Si _{max} %
acier A283 grade c	0.24	0.9	0.2	0.035	0.04	0.4

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

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

$$CE + C\% + \frac{Mn}{20} = 0.24 + 0.4 + \frac{0.9}{20} = 0,685 \times 0.005 = 0.003 < 0,3$$

Donc on peut appliquer le soudage sur le matériau sans l'utilisation d'un préchauffage 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

III.5 Conception de fond :

Il a une fonction principale d'étanchéité et assure le transfert de la charge verticale, produite par le liquide stocké, sur la fondation.

La partie centrale du fond n'est donc pas soumise à des contraintes mécaniques de tension.

Par contre, la bordure périphérique, placée sous la robe et soudée à celle-ci, est fortement sollicitée par la pression hydrostatique horizontale qui agit au bas de la robe.

Le fond peut être plat ou légèrement conique avec une pente au moins égale à 0,2 % orientée vers le haut ou vers le bas.

Cette pente facilite l'élimination des dépôts en fond de bac, qui s'effectue par l'intermédiaire d'une tuyauterie traversant la robe et débouchant dans une cuvette installée au point bas du fond. Lorsqu'un tassement des fondations est attendu, la pente du fond est orientée vers le haut pour compenser les mouvements du terrain.

Le fond est réalisé à partir de tôles rectangulaires de 6 à 6,5 mm d'épaisseur minimale, soudées par recouvrement sur leur face supérieure (**Figure III. 1**).

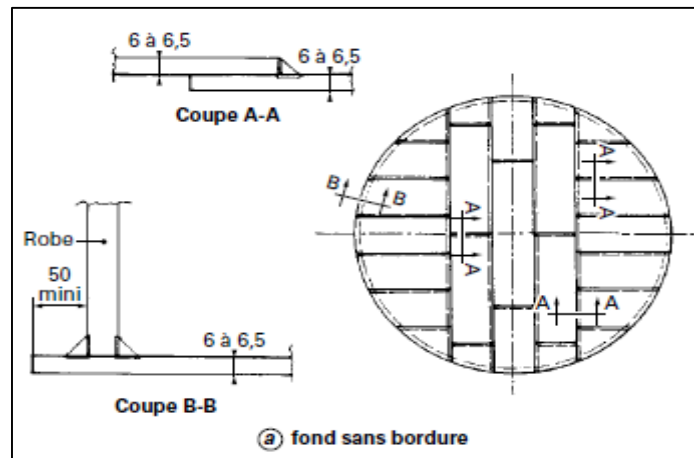


Figure III. 1: Fond de réservoir sans bordure

En fonction des critères fixés par les codes de construction, une tôle annulaire de **bordure** peut être nécessaire sous la robe.

Elle est constituée de segments de tôles rayonnants, soudés bout à bout, en général plus épais que le reste du fond (**Figure III. 2**).

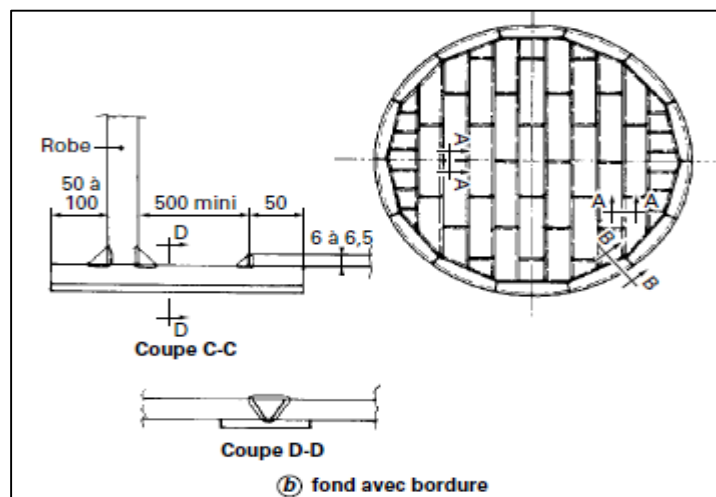


Figure III. 2: Fond de réservoir avec bordure.

III.6 Calculs de fond :

III.6.1 Les tôles centrales :

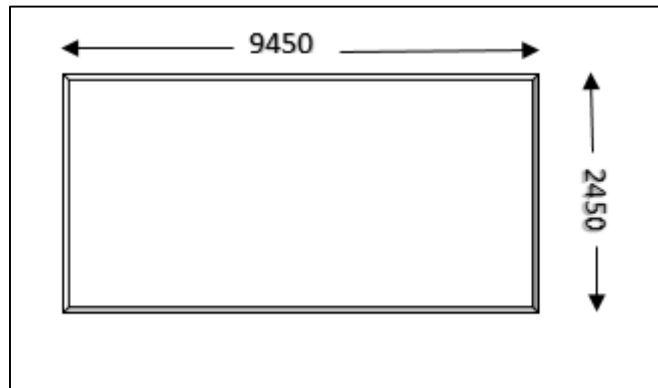


Figure III. 3: Format de la tôle centrale.

III.6.1.2 Epaisseur de la tôle centrale :

D'après l'article 5.4.1 page (62) API 650 version 2013 ;

Tous les plaques de fond doivent avoir une épaisseur corrodée d'au moins 6 mm, sauf accord contraire de l'acheteur, tous les plaques rectangulaires et esquissées (plaques de fond ou sur lesquelles repose la coque celle-ci et rectangulaire) doivent avoir une largeur nominale d'au moins 1800 mm

On a : $t(\text{min}) = 6 \text{ mm}$

$CA = 3 \text{ mm}$

$T_c = T_{\text{min}} + CA$

$T_c = 6 + 3 = 9 \text{ mm}$

$T(\text{min})$: épaisseur minimale

CA : surépaisseur de corrosion

III.6.1.3 Nombre des tôles centrales :

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

$$S_{\text{fond}} = \pi \times R^2 - S_{\text{marginale}}$$

$$S_{\text{marginale}} = \pi \times D \times 0,72$$

$$S_{\text{tôle}} = (9,45 - L_r) \times (2,45 - L_r)$$

AN:

$$S_{\text{marginale}} = 3,14 \times 14,9 \times 0,72$$

$$S_{\text{marginale}} = 33,6859 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{fond}} = 3,14 \times (7,45)^2 - 33,6859$$

$$S_{\text{fond}} = 140,5919 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{tôle}} = (9,45 - 0,5) \times (2,45 - 0,5)$$

$$S_{\text{tôle}} = 17,4525$$

$$N_{\text{tôles}} = \frac{140,5919}{17,4519} = 8,05 \text{ tôles}$$

On prendra : 8 tôles

Avec : **Lr** est la valeur de recouvrement des tôles centrales.

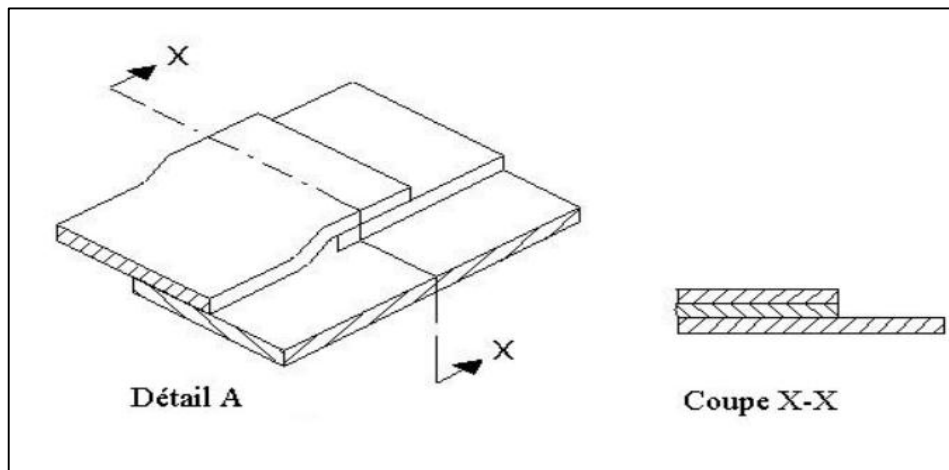


Figure III. 4 : Recouvrement des tôles centrales du fond.

N tôles : nombre de tôles

S fond : la surface du fond (m^2).

S tôles : la surface de tôle utilisée (m^2).

S marginales : la surface à l'intérieur du bac occupée par les tôles annulaire (m^2).

III.6.2 Les tôles annulaires :

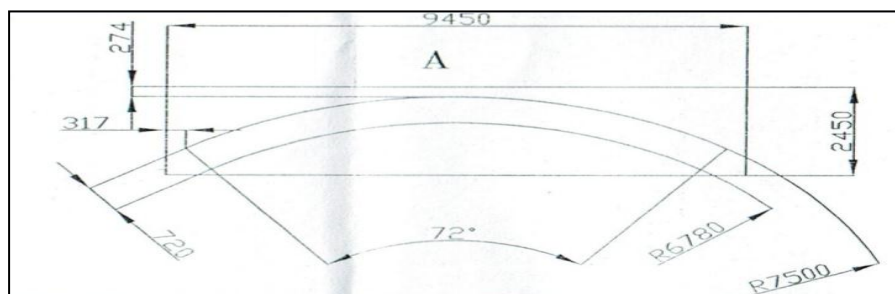


Figure III. 5 : Format de la tôle annulaire.

Les tôles annulaires de fond auront une largeur radiale minimale de 600 millimètres de l'intérieur de la première virole vers le centre du fond ; une plus grande largeur radiale des tôles annulaires est exigée d'après L'API 650 l'article (5.5.2) et calculé comme suit :

$$B = \frac{215tb}{(H \times G)^{0.5}}$$

Avec :

B : la largeur de la tôle annulaire.

Tb : l'épaisseur des tôles annulaires.

H : la hauteur de réservoir.

G : la densité de liquide.

III.6.2.1 Calcul l'épaisseur des tôles annulaires :

L'épaisseur des tôles annulaires ne sera pas moins de l'épaisseur le plus grande d déterminée en utilisant le tableau 5-1 dans l'API 650 (page48), pour le produit de conception (sans surépaisseur de corrosion) ou pour la conception à partir de l'essai hydrostatique.

Donc il faut déterminer la contrainte d'étude S_d et la contrainte de test hydrostatique S_t

- A partir du tableau 5-2 de l'API page 50 :
(Permissible plate materials and allowable stresses).
- Le matériau A283 gr c .à une contrainte d'étude $S_d = 116 \text{ MPA}$ et une contrainte de test hydrostatique $S_t = 154 \text{ MPA}$

Pour la contrainte d'étude : $S_d = 116 \text{ MPA}$

On a l'épaisseur des tôles de la 1 ère virole de la robe de réservoir sans surépaisseur de corrosion pour l'état de service égale $t = 12 \text{ mm}$

Donc à partir de tableau 5-1 (dans l'API650) on a :

$T = 12 \text{ mm} \leq 19 \text{ mm}$; et la contrainte d'étude $S_d = 116 \text{ MPA} \leq 190 \text{ MPA}$.

D'où : l'épaisseur des tôles annulaires de fond, $d = 6 \text{ mm}$

Pour la contrainte de test hydrostatique : $S_t = 154 \text{ MPA}$.

On a l'épaisseur des tôles de la 1 ère virole de la robe de réservoir sans surépaisseur de corrosion pour l'état de test hydrostatique $t = 6 \text{ mm}$

Donc à partir de tableau 5-1 (dans l'API 650) on a :

$T \leq 12 \text{ mm}$

Et la contrainte de test hydrostatique $s_t = 154 \text{ MPA} \leq 190 \text{ MPA}$

D'où : l'épaisseur des tôles annulaires de fond avec surépaisseur de corrosion est :

$t = 6 \text{ mm}$

Donc : $t_b = t + c_a = 6 + 3 = 9 \text{ mm}$

D'après (API 650 5-1-5-7) page 42.

III.6.2.2 Largeur des tôles marginales :

Les tôles marginales de fond auront une largeur radiale qui fournit au moins 600 millimètre entre l'intérieur de la robe et n'importe quel joint soudé dans le reste du fond. Une plus grande largeur radiale des tôles annulaires est exigée et calculé comme suit :

$$b = \frac{215t_b}{(H \times G)^{0,5}} = \frac{215 \times 9}{(12.2 \times 1,1)^{0,5}} = 528.20 \text{ mm}$$

$T_b = 9 \text{ mm}$: épaisseur de la tôle marginale.

H : niveau maximale du liquide = 12.2 m

G : densité du produit stocké = 1.1

Donc : $b = 528.20 \text{ mm}$

$$L \text{ tôle marginale} = L' + E + L + L''$$

$L \text{ tôle marginale}$: Largeur de la tôle marginale

E : épaisseur de la première virole (12 mm)

L : la distance entre l'intérieur de la robe et le joint de soudure des tôles centrales (528.20mm)

L' : La distance de recouvrement des tôles de fond (50mm)

L'' : La distance de recouvrement des tôles de fond (50mm)

d'ou :

$$L = 528.20 \text{ mm} + 50 \text{ mm} + 12 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 620.2 \text{ mm} \gg L = 720 \text{ mm}$$

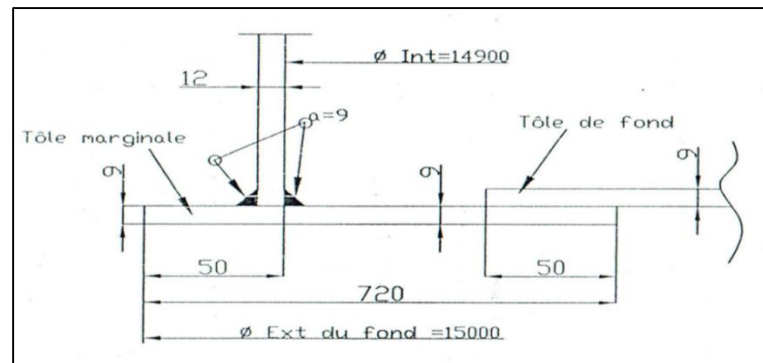


Figure III. 6: Assemblage de la tôle annulaire avec la 1ère virole.

III.7 Conception de la robe :

La robe est l'élément le plus important dans les réservoirs car elle est sollicitée aux différentes charges (internes et externes) à ce propos on a effectué des calculs.

Elle est construite par des rangées des tôles rectangulaires superposées, appelées « viroles », qui sont soudées bout à bout.

III.7.1 Calcul du nombre de viroles : sans joints de soudure :

$$n = \frac{H}{2400} = \frac{14400}{2400} = 6 \text{ viroles}$$

D'où : $n = 6$ viroles

$$- 2400 \times 4 = 9600 \text{ mm}$$

Alors : $14400 - 9600 = 4800 \text{ mm}$

Donc la hauteur des deux dernières viroles est :

$$H = 4800 / 2 = 2400 \text{ mm}$$

Donc toutes les viroles sont avec une hauteur de 2400 mm

III.7.2 Nombre des tôles par virole :

$$N_{\text{toles/virole}} = \frac{\text{perimètre}}{9367.49} = \frac{2\pi r}{9367.49} = 4.97 \text{ toles/virole}$$

$$N_t = n \times N = 5 \times 6 = 30 \text{ tôles}$$

III.7.3 Calcul des épaisseurs par viroles :

Le calcul des épaisseurs des tôles de la robe s'établit à l'aide de la formule ci-dessous : Selon API 650 paragraphe 5-6-3-2 page 72 ; on choisit la plus grande valeur entre l'épaisseur théorique et hydrostatique.

- L'épaisseur théorique :

$$T_d = \frac{4.9 \times D \times (H - 0.3) \times G}{S_d} + ca$$

- L'épaisseur hydrostatique :

$$T_t = \frac{4.9 \times D \times (H - 0.3)}{S_t} \quad ; (5-6-3-2 \text{ API } 650)$$

Avec :

T_d : L'épaisseur théorique

T_t : L'épaisseur hydrostatique

D : Diamètre intérieur en (m)

H : Hauteur du niveau de remplissage pour chaque virole en (m)

G : Densité du produit

S_d : Contrainte admissible théorique 116 MPA pour A283 gr c (API650 ANNEXE M)

S_t : Contrainte admissible hydrostatique 154 MPA pour A283 gr c

CA : Surépaisseur de corrosion

III.7.3.1 Epaisseurs théoriques :

Tableau III. 5 : Calcul des épaisseurs théorique

1ère virole	$T_{d1} = \frac{4.9 \times 14.9 \times (12.2 - 0.3) \times 1.1}{116} + 3$	$T_{d1} = 11.23$
2ème virole	$T_{d2} = \frac{4.9 \times 14.9 \times (10.2 - 0.3) \times 1.1}{116} + 3$	$T_{d2} = 9.85$
3ème virole	$T_{d3} = \frac{4.9 \times 14.9 \times (8.2 - 0.3) \times 1.1}{116} + 2$	$T_{d3} = 7.46$
4ème virole	$T_{d4} = \frac{4.9 \times 14.9 \times (6.2 - 0.3) \times 1.1}{116} + 2$	$T_{d4} = 6.08$
5ème virole	$T_{d5} = \frac{4.9 \times 14.9 \times (4.2 - 0.3) \times 1.1}{116} + 2$	$T_{d5} = 4.70$
6ème virole	$T_{d6} = \frac{4.9 \times 14.9 \times (2.2 - 0.3) \times 1.1}{116} + 2$	$T_{d6} = 3.31$

III.7.3.2 Epaisseurs hydrostatique :

Tableau III. 6: Calcul des épaisseurs hydrostatique

1ère virole	$Tt1 = \frac{4.9 \times 14.9 \times (12.2 - 0.3)}{154}$	Td1 = 5.64
2eme virole	$Tt2 = \frac{4.9 \times 14.9 \times (10.2 - 0.3)}{154}$	Td2 = 4.69
3eme virole	$Tt3 = \frac{4.9 \times 14.9 \times (8.2 - 0.3)}{154}$	Td3 = 3.74
4eme virole	$Tt4 = \frac{4.9 \times 14.9 \times (6.2 - 0.3)}{154}$	Td4 = 2.79
5eme virole	$Tt5 = \frac{4.9 \times 14.9 \times (4.2 - 0.3)}{154}$	Td5 = 1.84
6eme virole	$Tt6 = \frac{4.9 \times 14.9 \times (2.2 - 0.3)}{154}$	Td6 = 0.90

Tableau III. 7: Résultats récapitulatif des épaisseurs

Viroles	H (mm)	Td (mm)	Tt (mm)	T/ (mm) adopté	Matière
V1	12200	11.23	5.64	12	A283 gr C
V2	10200	9.85	4.69	10	A283 gr C
V3	8200	7.46	3.74	8	A283 gr C
V4	6200	6.08	2.79	7	A283 gr C
V5	4200	4.70	1.84	6	A283 gr C
V6	2200	3.31	0.90	6	A283 gr C

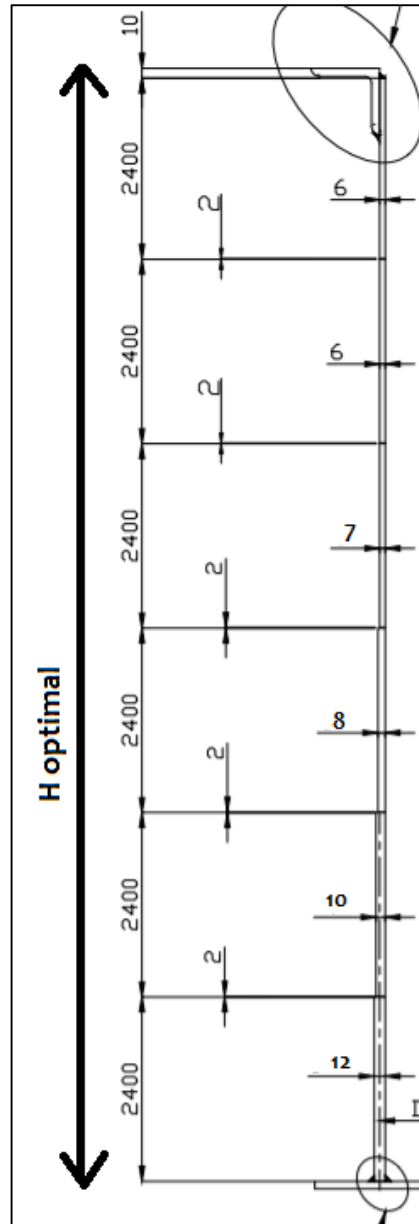


Figure III. 7: Disposition en hauteur des viroles de la robe

III.7.4 Calcul du poids total de la robe :

Le périmètre de la robe :

$$p = 2 \cdot \pi \cdot R = 46.786m = 46786mm$$

N tôles /viroles = 5

Format des tôles utilisées (9367.49× 2400 × e)

Nombre des viroles = 6

Masse volumique de l'acier 7850 kg/ m³

$$M_{total} = \sum M = M_{v1} + M_{v2} + M_{v3} + M_{v4} + M_{v5} + M_{v6}$$

$$M_v = 2.4 \times p \times 7850 \times e$$

$$M_{v1} = 2.4 \times 46.78 \times 7850 \times 0.012 = 10576.0224 \text{ kg}$$

$$M_{v2} = 2.4 \times 46.78 \times 7850 \times 0.010 = 8813.352 \text{ kg}$$

$$M_{v3} = 2.4 \times 46.78 \times 7850 \times 0.082 = 72269.4864 \text{ kg}$$

$$M_{v4} = 2.4 \times 46.78 \times 7850 \times 0.062 = 54642.7824 \text{ kg}$$

$$M_{v5} = 2.4 \times 46.78 \times 7850 \times 0.042 = 37016.0784 \text{ kg}$$

$$M_{v6} = 2.4 \times 46.78 \times 7850 \times 0.022 = 19389.3744 \text{ kg}$$

$$M_{total} = 10576.0224 + 8813.352 + 72269.4864 + 54642.7824 + 37016.0784 + 19389.3744 = 202707.096 \text{ kg} = 202.707 \text{ tonnes.}$$

III.8 Conclusion :

Ce chapitre avait pour but d'avoir un dimensionnement qui assure un bon fonctionnement de l'ouvrage à travers le fond et la robe qui sont deux parties du réservoir sollicités à différentes charges.

Chapitre IV

Etude de la charpente de Toit

IV.1 Introduction :

Les réservoirs à toit fixe 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 du toit reposent sur des chevrons rayonnants qui prennent appui au centre du réservoir sur le poteau central.

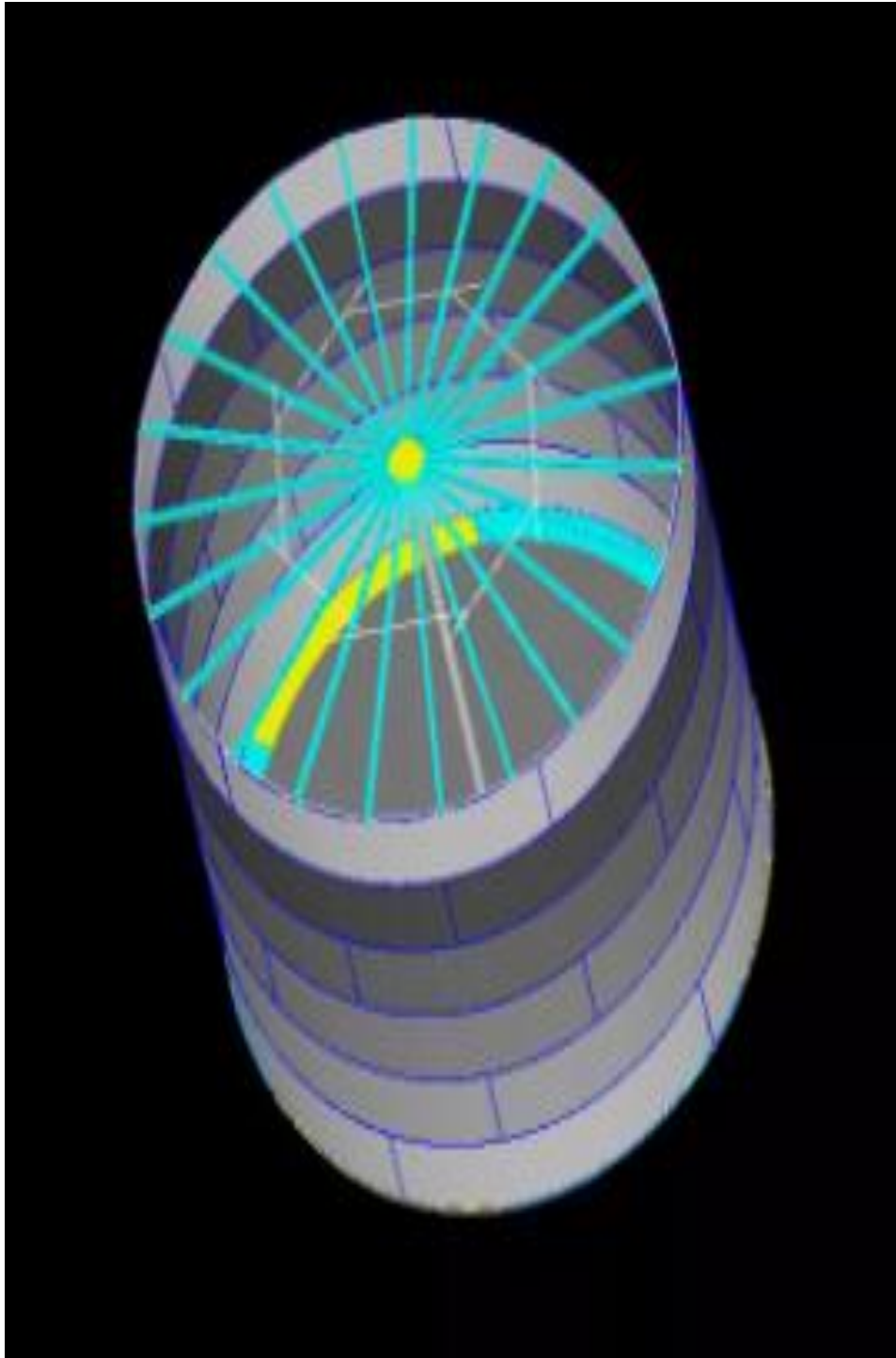


Figure IV. 1: Conception de la charpente sur la robe.

IV.2 Dimensionnement et calculs de toit :

IV.2.1 Données et résultats de calculs :

Tableau IV. 1: Données de toit

Toit	Cône fixe : supporté par chevron
Charpente toiture	Acier E24
Surépaisseur de corrosion	1 mm
Pente	1/16
Chevron	UPN 200
Entretoise	UPN 80

Tableau IV. 2: Données et résultats des calculs

épaisseur	6 mm
e min	5 mm
e corrosion	1mm
R	7.45 m
R'	7.464 m
H	0.466 m
S toit	174.51 m ²
N tôle de toit	8 T
Poids totale de toit	8219.421 kg
Format de la tôle	(9450×2450) mm

IV.2.2 Les applications numériques :

- $\text{tang } \alpha = \frac{1}{16}$
- $\alpha = 3.58$
- $\text{tang } \alpha = R/H$
- $H = \text{tang } \alpha \times R$
- $H = 0.466 \text{ m}$
- $R' = (R^2 + H^2)^{0.5}$
- $R' = 7.464 \text{ m}$
- $S \text{ toit} = \pi \times R' \times R$
- $S \text{ toit} = 174.51 \text{ m}^2$
- $s \text{ tole} = 9.45 \times 2.4$
- $s \text{ tole} = 22.68 \text{ m}^2$
- $\text{nombre des toles de toit} = \frac{s \text{ toit}}{s \text{ tole}}$
- $N = 7.69$
- $N = 8 \text{ t}$
- $\text{poids totale de toit} = P \times e \times S$
- $= 8219.421 \text{ kg}$

IV.2.3 Format de la tôle :

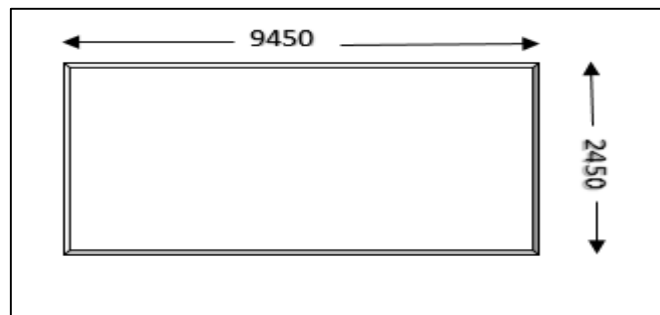


Figure IV. 2: Format de la tôle

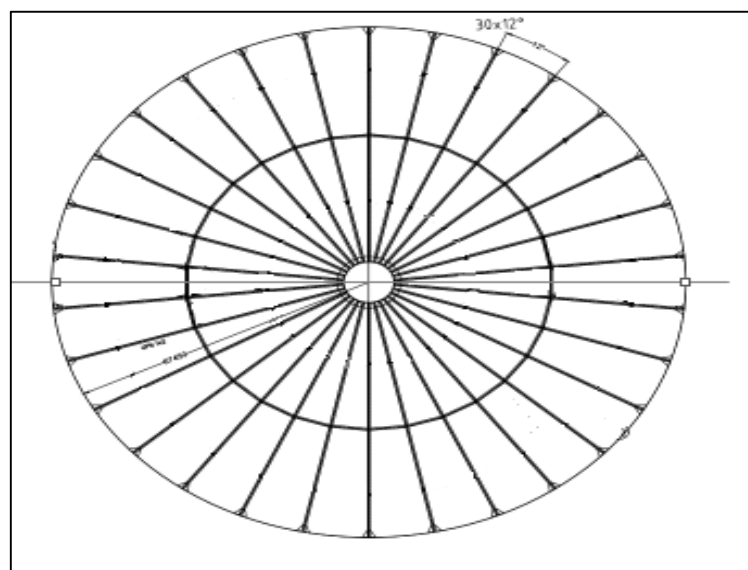


Figure IV. 3: Plan de la charpente de toit

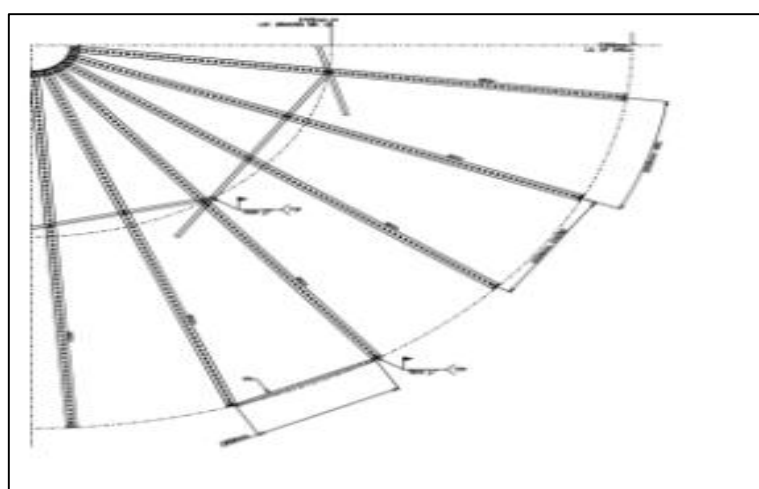


Figure IV. 4: Plan des chevrons

IV.3 Etude de chevron :

IV.3.1 Vérification de la résistance des chevrons d'entretoise :

Après une succession des calculs, nous avons abouti que le profilé **UPN 80**, convient comme un chevron d'entretoise.

Les caractéristiques d'UPN 80 :

	G	I_y	W_{aly}	W_{ply}	i_y	A_x	I_z	W_{alz}	W_{plz}	i_z	S_x	I_t	I_w	y_s	y_m
	kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁶	mm x10	mm x10
UPN 50	5,59	26,4	10,6	13,1	1,92	2,77	9,12	3,75	6,78	1,13	16,7	1,12	0,03	1,37	2,47
UPN 65	7,09	57,5	17,7	21,7	2,52	3,68	14,1	5,07	9,38	1,25	18,0	1,61	0,08	1,42	2,60
UPN 80	8,64	106	26,5	32,3	3,10	4,90	19,4	6,36	11,9	1,33	19,4	2,20	0,18	1,45	2,67

	G	h	b	t_w	t_f	r_1	r_2	A	d
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² x10 ²	mm
UPN 50*	5,59	50	38	5,0	7,0	7,0	3,5	7,12	21
UPN 65*	7,09	65	42	5,5	7,5	7,5	4,0	9,03	34
UPN 80*	8,64	80	45	6,0	8,0	8,0	4,0	11,0	47

Figure IV. 5: Caractéristiques d'UPN 80

a) Classe de section:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{275}{fy}} = 1$$

b) L'âme :

- $\frac{d}{tw} \leq 72 \varepsilon$
- $\frac{d}{tw} = \frac{h-2tf-2r}{tw}$
- $\frac{d}{tw} = \frac{80-2(8)-2(8+4)}{6}$
- $\frac{d}{tw} = 6.66$
- $6.66 \leq 72 \varepsilon$

c) La semelle :

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

$$\triangleright \frac{c}{tf} = \frac{b-tw-2r}{2tf}$$

$$\triangleright \frac{c}{tf} = \frac{45-6-2(8+4)}{16}$$

$$\triangleright \frac{c}{tf} = 0.93$$

$$\triangleright 0.93 \leq 9 \varepsilon$$

Donc la section de classe I

IV.3.2 Charges permanentes G :

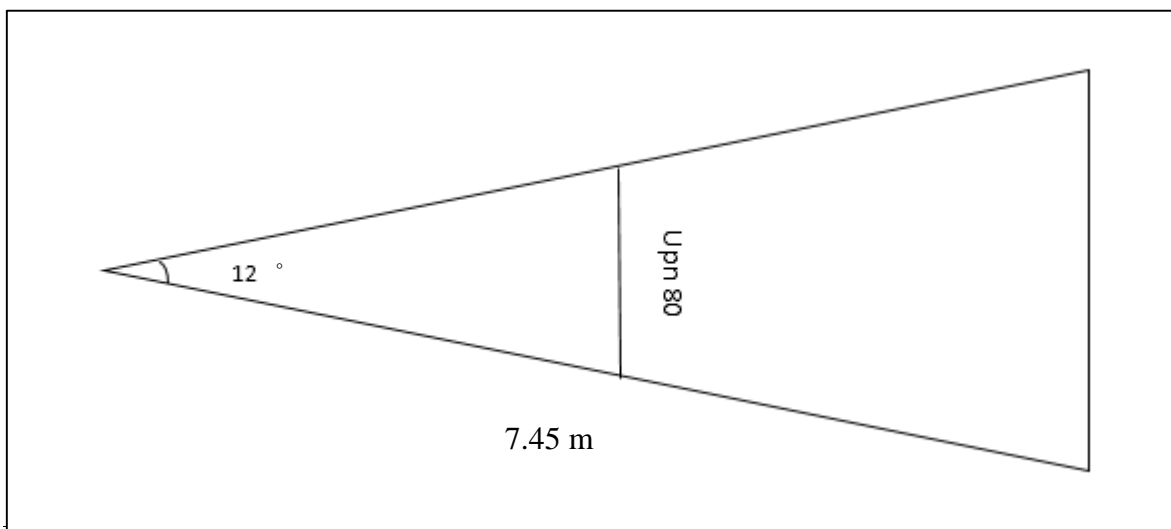


Figure IV. 6: Chevron d'entretoise avec UPN 80

L : la longueur chevron de stabilité :

$$\beta = 12^\circ$$

$$\alpha = 3.58^\circ$$

L=7.45 m ; le rayon de réservoir

D= 14.9 m ; diamètre de réservoir

$$L = \sin\beta \left(\frac{R}{2}\right)$$

$$L = \sin 12^\circ \left(\frac{7.45}{2}\right)$$

$$L = 0.775 \text{ m} = 775 \text{ mm}$$

IV.3.3 La surface de sollicité :

$$S_s = (y_1 + y_2)x_3/2$$

On a :

$$x_1 = 1.57 \text{ m}$$

$$x_2 = 5 \text{ m}$$

$$y_1 = 2x_1 \times \sin \frac{\beta}{2}$$

$$y_1 = 0.33 \text{ m}$$

$$y_2 = 2x_2 \times \sin \frac{\beta}{2}$$

$$y_2 = 1.05 \text{ m}$$

$$x_3 = x_2 - x_1$$

$$= 5 \cos \frac{\beta}{2} - 1.57 \cos \frac{\beta}{2}$$

$$x_3 = 3.41 \text{ m}$$

Alors :

$$S_s = (y_1 + y_2)x_3/2$$

$$S_s = 2.352 \text{ m}^2$$

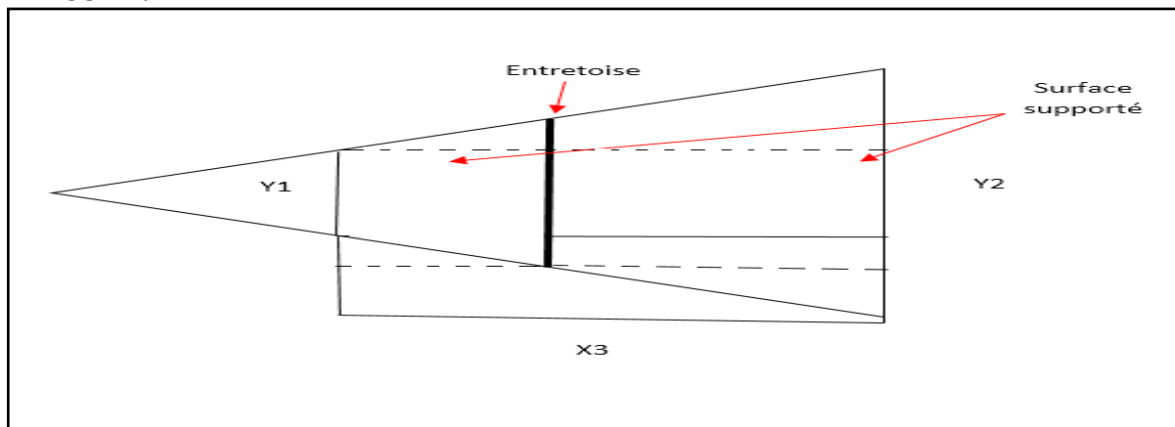


Figure IV. 7: Schéma explicatif de la surface de sollicité

- Charge de tôles : $G_{\text{tôles}} = p \times e = 7850 \times 0.006 = 47.1 \text{ daN / m}$
- Charge de profil : $G_{\text{profil}} = 8.64 \text{ daN / m}$

$$G_{\text{permanentes}} = 8.64 + 47.1 \times 3.41$$

$$G_p = 169.25 \text{ daN / m}$$

- **Charges variables Q :**

- **Charge de vent :**

$$V=118.66 \times 3.41=$$

$$V=404.63 \text{ daN/m}$$

- **Charge de neige :**

$$N=4.14 \times 3.41$$

$$N=14.117 \text{ daN/m}$$

- **Charge des ouvriers :**

$q=25.25 \text{ daN/m}$; c'est une charge linéaire de 2 ouvriers (charge/distance=188/7.75)

- **La combinaison des charges :**

- **L'état limite ultime :**

$$Q_1=1,35 \times G + 1,5 \times N = (1,35 \times 169.25) + (1,5 \times 14.114) = 249.65 \text{ daN/m}$$

$$Q_1=1,35 \times G + 1,5 \times V = (1,35 \times 169.25) + (1,5 \times 404.63) = 835.43 \text{ daN/m}$$

$$Q_1=1,35 \times G + 1,5 \times q = (1,35 \times 169.25) + (1,5 \times 25.25) = 266.362 \text{ daN/m}$$

$$Q_1=1,35 \times G + 0,9 \times (N + q) = (1,35 \times 169.25) + 1,35 (25.25 + 14.117) = 281.632 \text{ daN/m}$$

$Q_1=835.43 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable.

- **L'état limite de service :**

$$Q_2=G + N = 169.25 + 14.117 = 183.36 \text{ daN/m}$$

$$Q_2=G + q = 169.25 + 25.25 = 194.5 \text{ daN/m}$$

$$Q_2=G + V = 169.25 + 404.63 = 573.88 \text{ daN/m}$$

$$Q_2=G + (N + q) = 169.25 + (14.117 + 25.25) = 208.617 \text{ daN/m}$$

$Q_2=573.88 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable.

IV.3.4 vérification de la flèche :

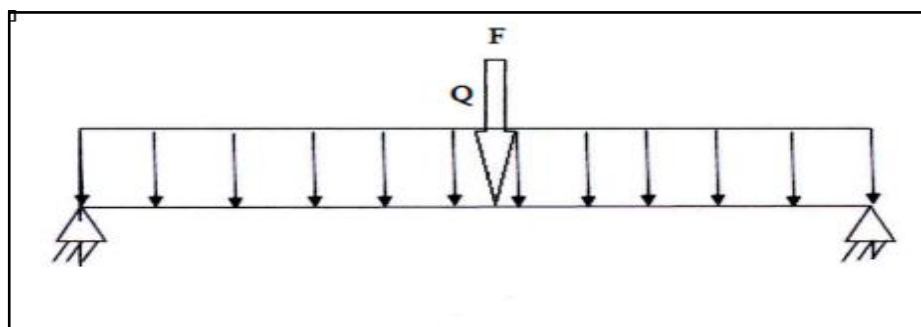


Figure IV. 8: Schéma statique de l'entretoise

$$\frac{5Q_2L^4}{384EI} \leq \frac{L}{200}$$

Avec :

$$L=77 \text{ cm}$$

$$E=210\,000 \text{ Mpa}$$

$$Q_2 = 573.88 \text{ daN/m}$$

L : la longueur chevron de stabilité,

I : moment d'inertie de chevron strié

Q₂: La charge(ELS)

E : module d'élasticité longitudinale

$$f_y = \frac{5 \times Q_2 \times \sin \alpha \times L^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{35.83 \times 10^{-2} \times (77)^4}{2.1 \times 10^6 \times 19.4} = 3.773 \cdot 10^{-3} \text{ Cm}$$

$$f_z = \frac{5 \times Q_2 \times \cos \alpha \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{572.76 \times 10^{-2} \times (77)^4}{2.1 \times 10^6 \times 106} = 0.011 \text{ Cm}$$

$$\sqrt{f_y^2 + f_z^2} \leq \frac{l}{200} ;$$

$$\frac{77}{200} = \mathbf{0.385cm}$$

Donc La condition de la flèche est vérifiée.

IV.3.5 La vérification de la résistance :

$$M_{sd} \leq M_{pl.Rd}$$

Avec :

$$M_{sd} = \frac{qL^2}{8}$$

$$M_{pl.Rd} = \frac{f_y \times W_{pl.Rd}}{\gamma_{M0}}$$

Q : La charge (ELU).

L : la longueur chevron, L=0.77m

W_{PL.Rd} : module de flexion plastique

F_y : La résistance à la traction f_y=275 Mpa

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{sdy} = \frac{Q_1 \cos \alpha \times L^2}{8} = \frac{833.79 \times 10^{-2} \times 0.77^2}{8} = 0.617 \text{ daN.m} \\ M_{sdz} = \frac{Q_1 \sin \alpha \times L^2}{8} = \frac{33.433 \times 10^{-2} \times 0.77^2}{8} = 0.024 \text{ daN.m} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{CRdy} = \frac{f_y \times W_{pl.Rdy}}{\gamma_{M0}} = \frac{32.3 \times 27.5 \times 10^{-2}}{1.1} = 8.075 \text{ daN.m} \\ M_{C.Rdz} = \frac{f_{\mu} \times W_{pl.Rdz}}{\gamma_{M0}} = \frac{11.8 \times 27.5 \times 10^{-2}}{1.1} = 2.95 \text{ kN.m} \end{array} \right.$$

$$\text{Alors : } \left(\frac{0.617}{8.075} \right) + \left(\frac{0.617}{2.95} \right) = 0.28 < 1$$

IV.3.6 Calcul du poids de chevron d'entretoise :

$$P = g \times n \times G_p \times L$$

Avec : n : nombre des chevrons de stabilité ; n=30

G_p : La masse par mètre linéaire de stabilité ; G_p=169.25kg/m.

L : longueur de chevron de stabilité ; L=0.77

$$P = 9.81 \times 30 \times 169.25 \times 0.77 \times 10^{-4} = 3.835 \text{ t}$$

IV.4 Vérification des chevrons :

Pour assurer la stabilité de toiture, il est nécessaire de vérifier la résistance des chevrons qui reçoivent des charges réparties donnant lieu à une flexion déviée.

Par rapport à la disposition et de la longueur des chevrons, on va vérifier la stabilité de toutes les chevrons.

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

IV.4.1 Vérification des résistances de chevron :

- Les caractéristiques de l'UPN 200 :

	G	I _y	W _{ey}	W _{ey} ■	I _y	A _e	I _x	W _{ex}	W _{ex} ■	I _x	s _x	I _x	I _x	y _c
	kg/m	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm	mm	mm ⁴	mm ⁴	mm
		x10 ⁸	x10 ³	x10 ³	x10	x10 ²	x10 ⁴	x10 ³	x10 ³	x10		x10 ⁴	x10 ⁴	x10
UPN 200	25,3	1910	191	228	7,70	17,7	148	27,0	51,8	2,14	28,1	11,9	9,07	2,01

	G	h	b	t _w	t _f	r ₁	r ₂
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm
UPN 200	25,3	200	75	8,5	11,5	11,5	6,0
UPN 220	29,4	220	80	9,0	12,5	12,5	6,5

Figure IV. 9: Caractéristiques d'UPN 200

a) Classe de section:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{275}{fy}} = 1$$

b) L'âme :

- $\frac{d}{tw} \leq 72 \varepsilon$
- $\frac{d}{tw} = \frac{h-2tf-2r}{tw}$
- $\frac{d}{tw} = \frac{200-2(11,5)-2(11,5+6)}{6}$
- $\frac{d}{tw} = 16,70$
- $16,70 \leq 72 \varepsilon$

c) La semelle :

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

$$\triangleright \frac{c}{tf} = \frac{b-tw-2r}{2tf}$$

$$\triangleright \frac{c}{tf} = \frac{75-8.5-2(11.5+6)}{23}$$

$$\triangleright \frac{c}{tf} = 1.36$$

$$\triangleright 1.36 \leq 9 \varepsilon$$

- **Charges permanentes G :**

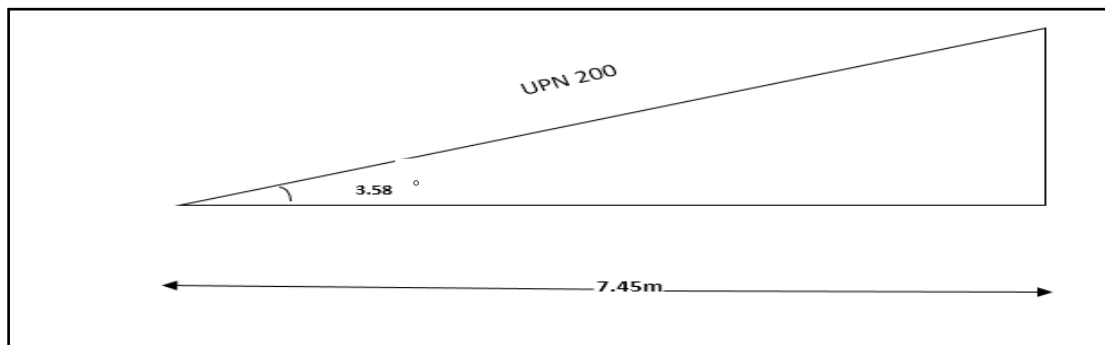


Figure IV. 10: Chevron avec profil UPN 200

- **L : La longueur chevron de stabilité :**

$$\beta = 12^\circ ; \alpha = 3.58^\circ$$

$$L = 7.45\text{m} = 745 \text{ cm}$$

- **Entraxe d :**

$$d = \frac{\pi D}{n} = \frac{3.14 \times 14.9}{30}$$

$$d = 1.55 \text{ m}$$

- Charge de tôles : $G_{\text{tôles}} = p \times e = 7850 \times 0.006 = 47.1 \text{ daN / m}^2$
- Charge de profil : $G_{\text{profil}} = 25.3 \text{ daN / m}$

$$G_{\text{permanentes}} = 25.3 + 47.1 \times 1.55$$

$$G_{\text{permanentes}} = 112.22 \text{ daN/m}$$

- **Charges variables Q :**

- **Charge de vent :**

$$V=118.66 \times 1.55$$

$$V=183.923 \text{ daN/m}$$

➤ **Charge de neige :**

$$N=4.14 \times 1.55 \text{ daN/m}$$

$$N=6.417 \text{ daN/m}^2$$

➤ **Charge des ouvriers :**

$$q=25.25 \text{ daN/m c'est une charge linéaire pour 2 ouvriers (188 kg)}$$

• **La combinaison des charges :**

○ **L'état limite ultime :**

$$Q_1=1,35 \times G + 1,5 \times N = (1,35 \times 112.22) + (1,5 \times 6.417) = 161.122 \text{ daN/m}$$

$$Q_1=1,35 \times G + 1,5 \times V = (1,35 \times 112.22) + (1,5 \times 183.923) = 427.381 \text{ daN/m}$$

$$Q_1=1,35 \times G + 1,5 \times q = (1,35 \times 112.22) + (1,5 \times 25.25) = 189.372 \text{ daN/m}$$

$$Q_1=1,35 \times G + 0.9 \times (N + q) = (1,35 \times 112.22) + 0.9 (25.25 + 6.417) = 297.323 \text{ daN/m}$$

$Q_1=427.381 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable.

○ **L'état limite de service :**

$$Q_2=G + N = 112.22 + 6.417 = 118.637 \text{ daN/m}$$

$$Q_2=G + q = 112.22 + 25.25 = 137.47 \text{ daN/m}$$

$$Q_2=G + V = 112.22 + 183.923 = 296.143 \text{ daN/m}$$

$$Q_2=G + (N + q) = 112.22 + (6.417 + 25.25) = 143.587 \text{ daN/m}$$

$Q_2=296.143 \text{ daN/m}$ c'est la charge la plus défavorable.

IV.4.2 vérification de la flèche :

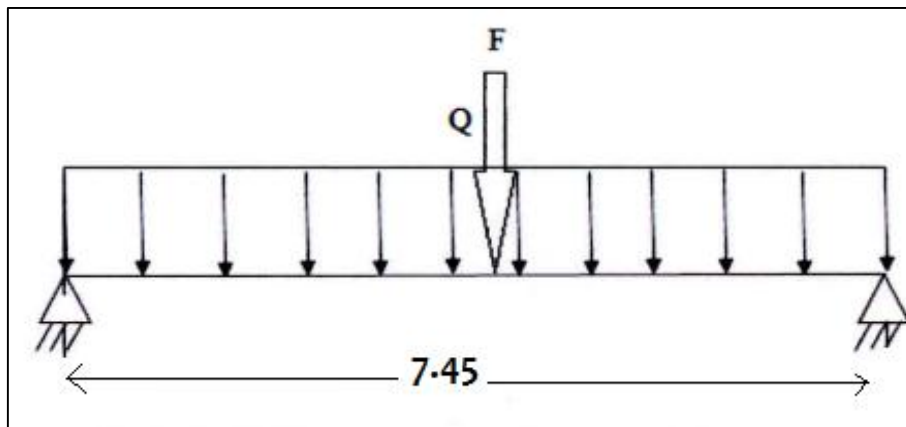


Figure IV. 11: Schéma statique de chevron

$$\frac{5Q_2L^4}{384EI} \leq \frac{L}{200}$$

Avec :

$$L=745\text{cm}$$

$$E=210\,000\text{ MPA}$$

$$Q_2 = 296.143\text{ daN/m}$$

$$I_y = 1910\text{ cm}^4$$

$$I_z = 148\text{ cm}^4$$

L : la longueur chevron de stabilité,

I : moment d'inertie de chevron strié

Q₂: La charge(ELS)

E : module d'élasticité longitudinale

○ **Suivant z-z'** :

$$f_z = \frac{5 \times Q_2 \cos a \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{296.143 \times 10^{-2} \times (745)^4}{2.1 \times 10^6 \times 1910} = 2.95\text{ cm}$$

○ **Suivant y-y'** :

$$f_y = \frac{5 \times Q_2 \sin a \times L^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{17.582 \times 10^{-2} \times (745)^4}{2.1 \times 10^6 \times 148} = 0.184\text{ cm}$$

$$\sqrt{f_y^2 + f_z^2} \leq \frac{l}{200} ;$$

$$\frac{745}{200} = 3.725\text{ cm}$$

Donc La condition de la flèche est vérifiée.

IV.4.4 vérification de la résistance de chevron (flexion simple) :

$$M_{sd} \leq M_{pl,Rd}$$

Avec :

$$M_{sd} = \frac{qL^2}{8}$$

$$M_{cr,dy} = \frac{f_y \times W_{pl,Rd}}{\gamma_{M0}}$$

Q : La charge (ELU).

L : la longueur chevron, L=7.45m

$W_{pl,Rd}$: module de flexion plastique

F_y : La résistance à la traction $f_y=275 \text{ Mpa}$

- Le moment fléchissant sur l'axe y-y' :

$$M_{sdy} = \frac{Q_1 \cos \alpha \times L^2}{8} = \frac{426.547 \times 7.45^2}{8} = 2959.30 \times 10^{-4} = 0.2959 \text{ daN.m}$$

- Le moment fléchissant sur l'axe z-z' :

$$M_{sdz} = \frac{Q_1 \sin \alpha \times L^2}{8} = \frac{26.686 \times 7.45^2}{8} = 185.146 \times 10^{-4} = 0.018 \text{ da.N.m}$$

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

$$M_{crdy} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Avec :

$$\gamma_{M0} = 1.1$$

$$F_y = 275 \text{ mpa}$$

$$W_{ply} = 228 \text{ mm}^3$$

$$W_{plz} = 51.8 \text{ mm}^3$$

$$M_{Crdy} = \frac{f_y \times W_{pl,Rdy}}{\gamma_{M0}} = \frac{228 \times 275}{1.1} = 57000 \times 10^{-4} = 5.70 \text{ daN.m}$$

$$M_{Crdz} = \frac{f_y \times W_{pl,Rdz}}{\gamma_{M0}} = \frac{51.8 \times 275}{1.1} = 12950 \times 10^{-4} = 1.295 \text{ daN.m}$$

Alors, on vérifié le rapport suivant :

$$\left(\frac{0.2959}{5.70}\right) + \left(\frac{0.018}{1.295}\right) = 0.065 < 1$$

Donc la condition de résistance est vérifiée.

IV.4.5 Effort tranchant :

La valeur de calcul V_{sd} de l'effort tranchant dans chaque section transversal doit satisfaire à la condition :

$$V_{sd} \leq V_{pl. Rd}$$

Où $V_{pl. Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance plastique au cisaillement donnée par :

$$V_{pl. Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M_0}} \quad \text{Avec } A_v : \text{L'aire de cisaillement}$$

$$V_{sdy} = \frac{q \times l}{2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{sdy} = \frac{428.381 \times 7.45 \times 10^{-2}}{2} = 15.919 \text{ kN} \\ V_{ply. Rd} = \frac{8450 \times 283 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 1.1} = 1255.133 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$V_{sd} \leq V_{pl. Rd}$ Donc la condition de l'effort tranchant est vérifiée.

IV.4.6 Calcul du poids des chevrons :

$$P = g \times n \times C_p \times L$$

Avec : n : nombre des chevrons $n=30$

G_p : La masse par mètre linéaire de stabilité $G_p=25.3 \text{ kg/m}$

L : longueur de chevron de stabilité $L=7.45 \text{ m}$

$$P = 9.81 \times 30 \times 25.3 \times 7.45 \times 10^{-4} = 5.547 \text{ t}$$

$$P = 5.547 \text{ t}$$

IV.5 Calcul de poteau central :

Le poteau central doit supporter une partie de charge provenant du toit posant sur la robe.

D'après eurocode 3 page 151 article c ; la résistance plastique de calcul de la section brute :

$$N_{wply Rd} = A f_y / \gamma_{M_0}$$

$$A \geq \frac{N_{wply Rd} \cdot \gamma_{M_0}}{f_y}$$

Avec :

f_y : La limite élastique 275 MPA

$$\gamma_{M_0} = 1.1$$

$f = N = Q_1 = 427.381 \text{ daN.m}$; La charge de chevron la plus défavorable.

$$w_{ply} = 228 \text{ cm}^2$$

$$A \geq \frac{N \cdot wply Rd \cdot \gamma M_0}{fy} \geq 38.977 \text{ cm}^2$$

Alors on prend : $A \approx 41.4 \text{ cm}^2$

D'après la memotech page 93 ; les caractéristiques d'un tube choisit de limite élastique de 275MPa sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV. 3: Caractéristiques du poteau central

T (mm)	Diamètre \emptyset (mm)	Masse (kg/m)	Aire de la section A (cm^2)	Moment d'inertie de torsion J (cm^4)	Moment d'inertie de flexion I (cm^4)	Module d'inertie de flexion w (cm^3)	Rayon de giration i (cm)
5	273	33.0	42.10	7562	3781	277.0	9.477

IV.5.1 La hauteur du poteau central :

$$L_{pe} = L_{robe} + L_t$$

$$L_{robe} = 14.4 \text{ m}$$

$$L_{pe} = 14.4 + R \sin 1/16$$

$$L_{pe} = 14.86 \text{ m}$$

$$\varepsilon^2 = \frac{275}{fy} = 0.85 \text{ (eurocode page 137)}$$

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

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

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

$$\frac{D}{t} = \frac{273}{5} = 54.6 < 70\varepsilon^2$$

D'où : La section est de classe II.

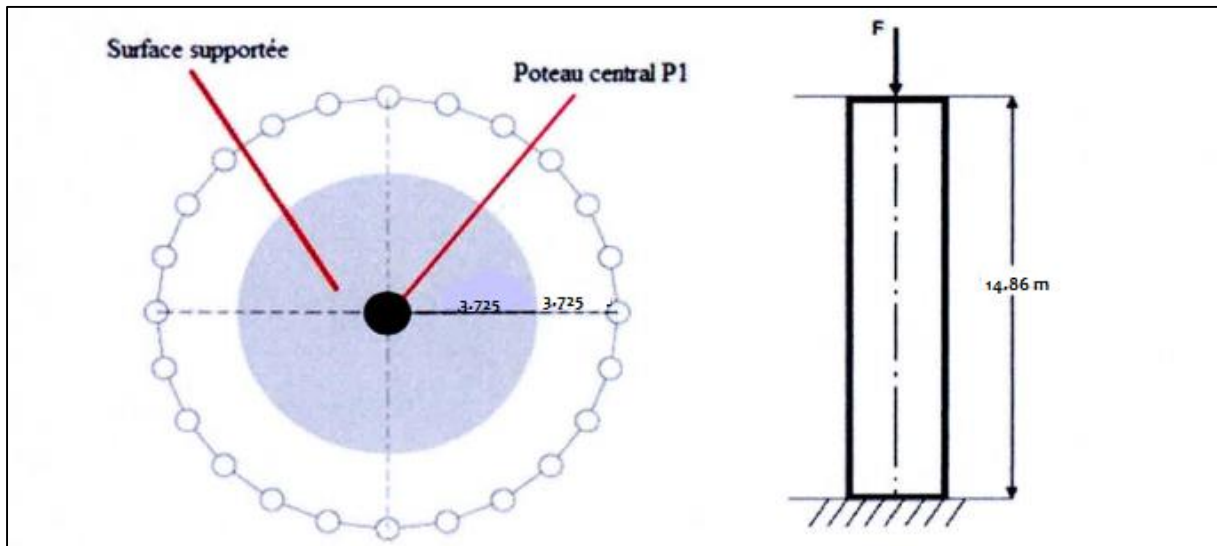


Figure IV. 12 : Surface supportée par le poteau central et modélisation du poteau central

IV.5.2 Calcul de la force de compression sur le poteau :

$$s_1 = \pi \times R_1^2$$

$$s_1 = 3.14 \times 3.525^2$$

$$s_1 = 43.57 \text{ m}^2$$

- **Charge de vent :**

$$Q_{vent} = 118.66 \times s_1$$

$$Q_{vent} = 118.66 \times 43.75$$

$$Q_{vent} = 5170.0162 \text{ daN} = 51.70 \text{ KN}$$

- **Charge de neige :**

$$Q_{neige} = 4.14 \times s_1$$

$$Q_{neige} = 4.14 \times 43.75$$

$$Q_{neige} = 180.37 \text{ daN} = 1.80 \text{ KN}$$

- **Charge d'entretoise :**

$$Q_{entretoise} = Pp \times \text{nombre}_{entretoise} \times \text{longueur}_{entretoise}$$

$$Q_{entretoise} = 8.64 \times 30 \times 0.7$$

$$Q_{entretoise} = 181.44 \text{ daN} = 1.81 \text{ KN}$$

- **Charge de chevron :**

$$Q_{chevron} = Pp \times nombre_{chevron} \times Ls$$

$Ls =$ longueur de chevron supporté par le poteau

$$Q_{chevron} = 25.3 \times 30 \times 3.525$$

$$Q_{chevron} = 267.547 daN = 2.68 KN$$

- **Charge des ouvriers :**

$$Q_{chevron} = 25.25 daN = 0.25KN$$

- **Charge de couverture :**

$$Q_c = p \times e \times s$$

$$Q_c = 7850 \times 0.006 \times 43.57$$

$$Q_c = 2052.147 daN = 20.521KN$$

D'où :
$$F = \frac{\sum Q_i}{N_{poteaux}}$$

$$F = \frac{Q_{vent} + Q_{neige} + Q_{entretoise} + Q_{chevron} + Q_{ouvriers} + Q_{couverture}}{N_{poteaux}}$$

$$N_{poteaux} = 1$$

$$F = 51.70 + 1.80 + 1.81 + 2.68 + 0.25 + 20.521$$

$$F = 78.761 KN = 78767.702N$$

IV.5.3 Vérification à la compression :

La contrainte de compression :

$$\delta \leq \frac{F}{A} \leq \delta e$$

Avec : F : la force de compression exercé sur le poteau central.

A : aire de section de poteau choisis égale $42.10 \text{ cm}^2 = 4210 \text{ mm}^2$ (d'après memotech).

$$\delta = \frac{F}{A} = \frac{66594}{4210} = 15.81 \text{ MPA}$$

Donc : $15.81 \text{ MPA} \leq 275 \text{ MPA}$

D'où : le poteau résiste à la compression.

IV.5.4 Vérification au flambement :

Pour que les poteaux résistent au flambement on doit vérifier :

$Ny.sd < Nb.rdy$; D'après eurocode 3 page 169

$$Nb.rdy = \frac{x \times \beta_A \times A \times fy}{\gamma M_0}$$

$$fy = 275 \text{ MPA}$$

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

$$I=9.477\text{cm}$$

$$A= 42.10\text{cm}^2$$

$$ly(\text{flambement}) = 0.5 \times ly(\text{poteau}) =$$

$$0.5 \times 1486 = 743 \text{ cm}$$

$$x = \frac{1}{\varphi + (\varphi^2 + \lambda^2)^{1/2}}$$

$$\varphi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2)$$

α = est un facteur d'imperfection.

λ = est également pour le mode de flambement considéré.

$$\lambda = \frac{Ly(\text{flambement})}{iy}$$

$$= \frac{743}{9.477}$$

$$\lambda = 78.40$$

$$\lambda = 93\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

Donc :

$$\lambda_1 = 93 \times 0.92 = 85.56$$

$$\check{\lambda} = \left(\frac{78.40}{85.56}\right) \times \left(0.92^{\frac{1}{2}}\right) = 0.87$$

Section φ courbe de flambement $\alpha = 0.21$

$$\varphi = 0.5[1 + 0.21 \times (0.87 - 0.2) + 0.87^2] = 0.783$$

$$x = \frac{1}{0.783 + (0.783^2 + 0.87^2)^{1/2}} = 0.51$$

Donc :

$$Nb.rdy = \frac{0.51 \times 1 \times 4210 \times 0.275}{1.1} = 536.445$$

$$F < Nb.rdy$$

$$66.5KN < 536.445KN$$

D'où : le poteau P résiste le flambement.

IV.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, notre travail consiste à choisir les éléments structurales 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 pannes, les chevrons, les entretoises et le poteau central. Le règlement utilisé c'est L'EUROCODE 3.

Pour assurer la stabilité de toit, il est nécessaire de vérifier tous les éléments secondaires qui contiennent la charpente supportée.

Chapitre V

Accessoires du réservoir

V.1 Introduction :

Pour assurer la meilleure utilisation du réservoir, il est très important d'utiliser les accessoires tel que les ouvertures de la robe, on vise les trous d'homme, tubulures et la porte visite .pour le fond il y a la cuvette, et sur le toit il y a les trous d'homme et les tubulures qui sont utilisés, pour les essais hydrostatiques.

Et pour assurer la liberté de circulation des opérateurs sur et autour du réservoir, on utilise l'escalier hélicoïdal.

V.2 Trou d'homme sur la robe :

Trou d'homme sur la robe est utilisé pour effectuer des travaux à l'intérieur du réservoir, acheminer les équipements nécessaire et l'accès pour exécuter les opérations d'entretien et de nettoyage.

Le trou d'homme sur la robe est constitué d'une tôle de renforcement, d'un segment de tube, d'une bride, d'un couvercle (bride pleine) et accessoires (joints 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 de réservoir sera exécuté sur chantier, par soudage approprié.

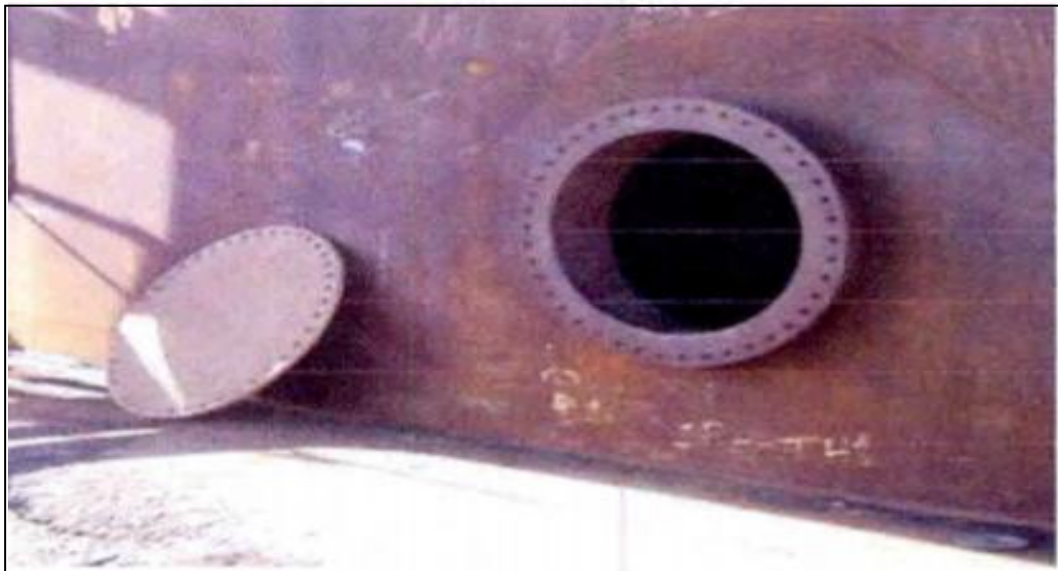


Figure V. 1: Trou d'homme sur la robe.

V.3 Trou d'homme sur toit :

Le trou d'homme devra être prévu sur le toit pour permettre d'accéder à l'intérieur du réservoir et assurer l'action lorsque le réservoir est vide.

Le nombre et le diamètre de trou d'homme sur le toit devra être par la commande du client.



Figure V. 2: Trou d'homme sur le toit.

V.4 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.



Figure V. 3: tubulures.

➤ Préparation :

Tous les éléments des tubulures seront préparés en atelier.

➤ Assemblage :

L'assemblage des éléments de tubulures sera effectué en atelier, tandis que l'assemblage des tubulures sur le réservoir sera exécuté sur site.

Recommandation : les tubulures devront être conçues et exécutées conformément à la spécification de la norme API.650 STD.

➤ Constitution :

Les principales tubulures recommandées par la norme API.650 STD, sont :

- 02 tubulures de remplissage avec déversoir de 8''
- 01 tubulure de sortie de liquide de 14''
- 02 tubulures de vidange avec puisard de soutirage de 12''

Tubulures supplémentaire exigées par le client

V.5 Porte visite:

Appelé souvent « porte boulonnée » et renforcé par une tôle, elle est unique dans un bac, de dimensions plus importantes que le trou d'homme pour assurer l'accès des instruments et des matériels de grande taille

V.6 La cuvette :

Avec l'utilisation fréquente du bac (remplissage et vidange), des résidus se forment sur le fond, et pour le nettoyage total de bac, on doit purifier le fond à l'aide d'une cuvette de vidange qui va être aspergé vers l'extérieur du bac avec la tubulure de vidange de fond.



Figure V. 4: La cuvette.

V.7 Calorifugeage :

Le calorifugeage consiste par définition, à isoler des installations de circulation le fluide chaude ou de chauffage (tuyauteries, réservoirs, citernes...), afin d'éviter les pertes de chaleur. Cela permet entre autre, de protéger les installations contre les perturbations extérieurs telles que le gel, la condensation ou le givre, mais aussi de conserver l'énergie thermique et des phénomènes physiques.

- **Flux thermique** : est la puissance qui traverse une surface au cours d'un transfert thermique, c'est-à-dire l'énergie thermique, c'est-à-dire l'énergie thermique transférée-ou quantité de chaleur-par unité de temps.
- **Mode de transfert thermique** :

Convection : la convection désigne le transfert d'énergie thermique au sein d'un fluide en mouvement ou entre un fluide en mouvement et une paroi de solide.

Conduction : est une mode de transfert thermique provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu, ou entre deux milieux en contact.

Rayonnement : est un rayonnement électromagnétique généré par l'agitation thermique de particules dans la matière quel que soit l'état de celle-ci : solide, liquide ou gaz.

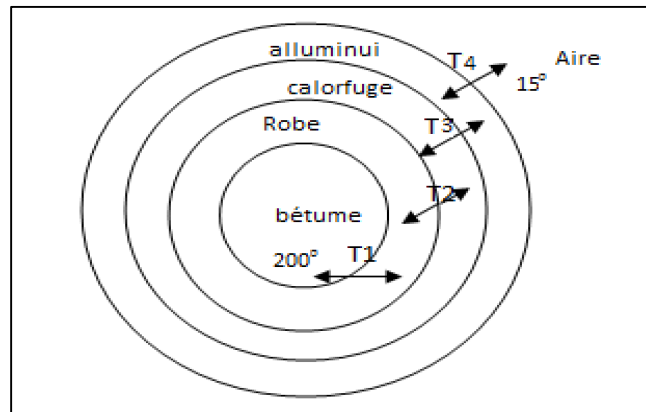


Figure V. 5 :Schéma explicatif des differets température



Figure V. 6: Calorifugeage.

Il ya deux types du calorifuge :

- **Laine de roche** : est un matériau isolant fabriqué à partir d'un matériau naturel issu de l'activité volcanique (le basalte) .c'est un isolant certifié pour un usage dans le bâtiment tant pour l'isolation thermique que l'isolation phonique ou pour la protection des ouvrages contre les incendie

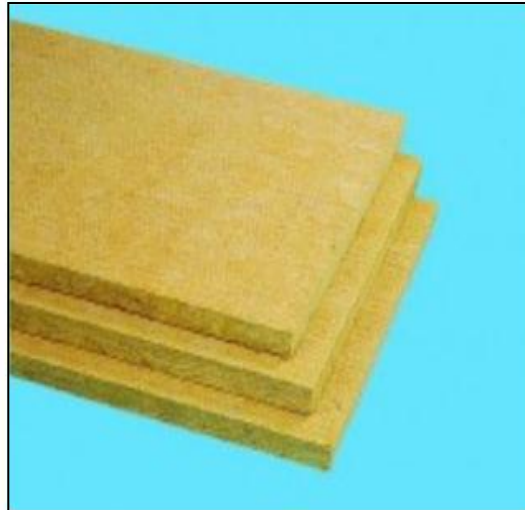


Figure V. 7: Laine de roche.

- **Laine de verre** : est utilisée pour l'isolation thermique et l'isolation phonique des bâtiments d'habitation ou non résidentiels .ses caractéristiques lui permettent également d'être employée comme absorbant pour la correction acoustique ou dans la protection contre les incendies.



Figure V. 8: Laine de verre.

- **Caractéristique d'aluminium :**
 - type d'aluminium utiliser: alliage 7050 ;
 - Tôle d'aluminium d'épaisseur : 1mm ;
 - La masse volumique : 2800kg/m^3 ;
 - Poids totale des tôles d'aluminium : 1886,36kg.
- **Caractéristiques de laine de roche :**
 - Type de calorifugeage : laine de roche ;
 - Epaisseur : 120 mm ;
 - La masse volumique : 70kg/m^3 ;
 - Surface totale de la laine de roche : $673,71\text{ m}^2$;
 - Poids totale de laine de roche : 5659,164 kg ;

Détermination de l'épaisseur de l'isolation :

En l'absence d'exigences particulières, il faut se souvenir la loi limite à 55 C° la température des surfaces accessibles. il convient de vérifier que l'épaisseur retenue permet de limiter la température de surface à cette valeur.

L'épaisseur est obtenue à l'aide de la relation suivante :

$$e = \frac{\lambda(\theta_1 - \theta_s)}{he(\theta_s - \theta_a)}$$

θ_1 : Température intérieur (200°C)

θ_a : Température ambiante (15°C°)

θ_s : Température de la surface extérieure

λ : Conductivité thermique

Donc l'épaisseur de l'isolant du réservoir est 120 mm

V.8 Serpentins :**V.8.1 Définition serpentins :**

Peuvent être fabriqués en utilisant plusieurs techniques différentes, chacune d'entre elles produisant un tube ayant certaines caractéristiques comprennent la résistance mécanique, l'épaisseur de paroi, la résistance à la corrosion, les limites de température et de pression.

Par exemple : les tuyaux ayant la même épaisseur de paroi mais fabriqués par des méthodes différentes peuvent varier en termes de limites de résistance et de pression. Les méthodes de fabrication que nous mentionnerons incluent les tubes sans soudure, soudés, bout à bout et soudés en spirale.

Les serpentins sont des tubes cintrés suivant en forme de serpent, à un bute pour raugmentés la surface de chauffe entre les deux faces (face extérieur et la face intérieur).

V.8.2 Les différents types des serpentins :

On a trois niveaux de types des serpentins :

1. Serpentins type chevalet
2. Serpentins type spiral
3. Serpentins épingle

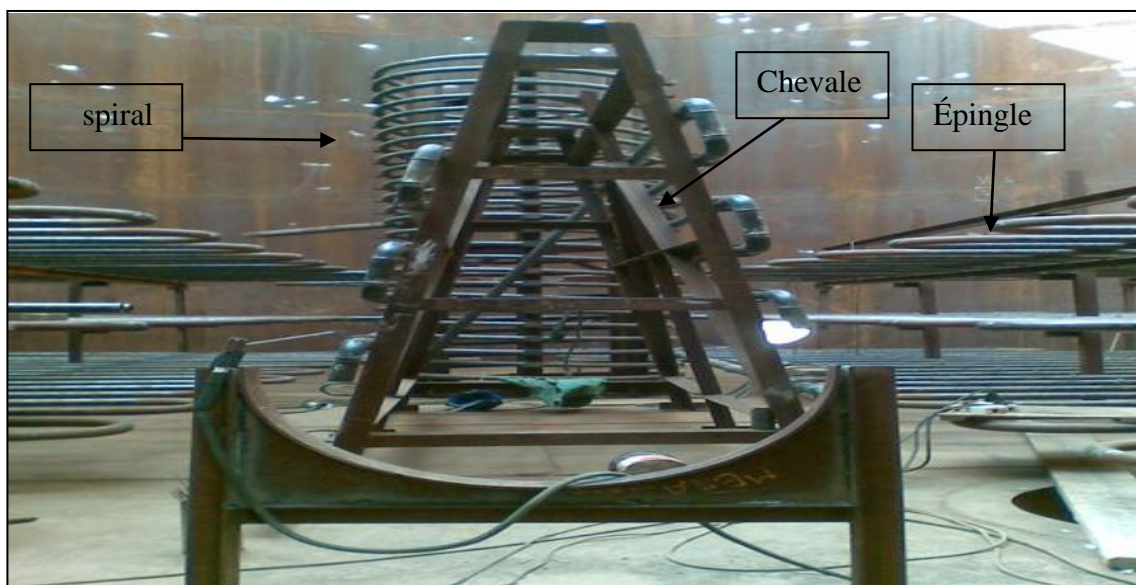


Figure V. 9: Les différents types des serpentins.

V.9 Escalier hélicoïdal :

Dans notre projet, les escaliers utilisés sont de type standard selon la norme API650, fabriqué en acier (S235).

Recommandation d'après l'API :

Toutes les pièces doivent être métalliques.

- Largeur de l'escalier (minimum) 61 cm.
- Angle de l'escalier avec l'horizontale (maxi) 50°.
- Largeur des girons (minimum) 20,5 cm. (Le giron (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 66 cm. La hauteur de marche doit être uniforme sur tout l'escalier).
- Marches en caillebotis ou en matériau antidérapant.
- 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 762-863,6 mm.
- Distance entre les boutons de lisse (maximum) mesurée le long de la pente de la lisse 2438,4 mm
- La structure terminée devra pouvoir supporter une charge vive concentrée de 1000 lb, et la structure de la main courante devra pouvoir supporter une charge de 200 lb, à appliquer dans une quelconque direction en un point quelconque de la lisse supérieure.
- 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
- 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 V. 10: Montage d'escalier hélicoïdal d'un réservoir cylindrique.

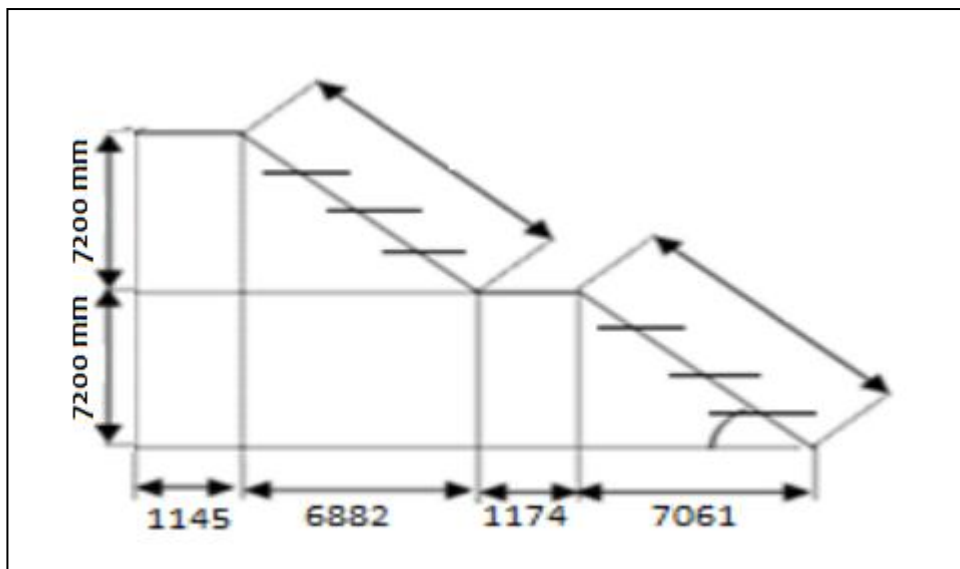


Figure V. 11: Dimensionnement de l'escalier hélicoïdal.

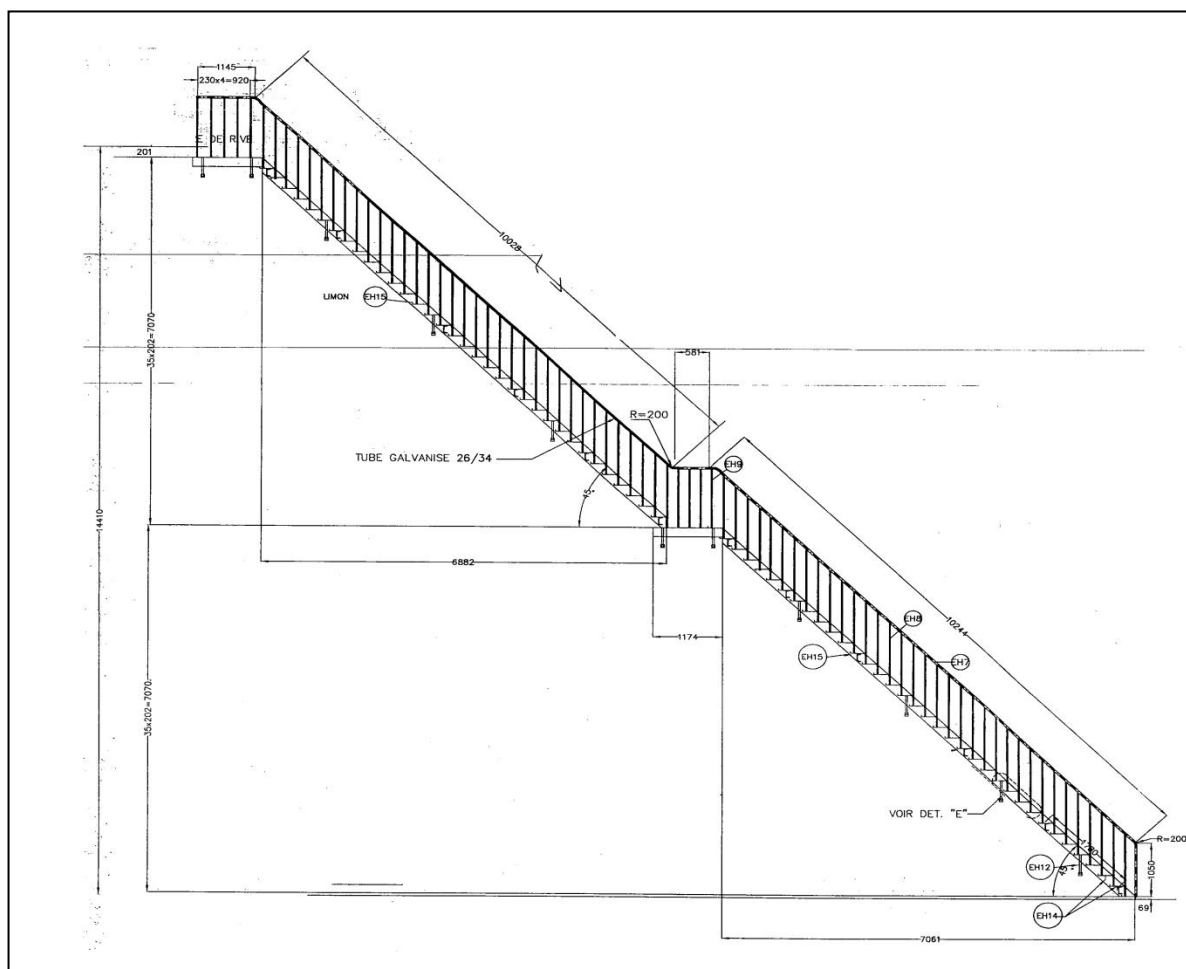


Figure V. 12: Vue de l'escalier hélicoïdal.

V.9.1 Dimensionnement des escaliers hélicoïdaux :

Donc : $2h + b > 660 \text{ mm}$. (API 650.Std)

On prendre : $\begin{cases} b = 250 \text{ mm} \\ h = 240 \text{ mm} \end{cases}$

$2h + b > 660 \text{ mm} \Rightarrow 710 \text{ mm} > 660 \text{ mm}$

Les marches sont construites par des tôles caillebotis, D'épaisseur 6 mm, ces derniers sont boulonnés avec le limon.

$$P = 16 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_y = 14,80 \text{ mm}^3$$

$$e = 6 \text{ mm}$$

h: la hauteur entre les marches;

b : la largeur de marche.

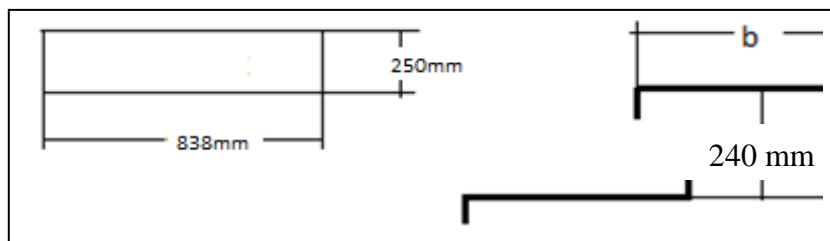


Figure V. 13: Marche de l'escalier.

V.9.2 Évaluation des charges :

La marche est soumise aux charges et surcharges suivantes :

- **la charge permanente :**

$$\text{Poids de la marche : } G = 16 \times 0,25 = 4 \text{ daN/m.}$$

- **la charge d'exploitation :**

$$P = 100 \times 0,83 = 83 \text{ daN/m. (100kg est poids d'un ouvrier avec sa caisse ou outil).}$$

- **la charge non pondérée :**

$$Q_1 = G + P = 4 + 83 = 87 \text{ daN/m}$$

- **la charge pondérée**

$$Q_2 = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot P = 1,35 \times 4 + 1,5 \times 83 = 129,9 \text{ daN/m}$$

V.9.3 Vérification des marches :

- **vérification de la flèche**

$$\frac{5Q_1L^4}{384EI_x} \leq \frac{L}{200}$$

Avec : L : la longueur des cornières $L = 0,83 \text{ m}$

I_y : l'inertie des marches striées $I = 605 \text{ cm}^4$

$$Q_1 = 87 \text{ daN/m}$$

$$W_y = 14,80 \text{ cm}^3$$

$$f = \frac{5 \times 87 \times 0,83^4}{384 \times 2,1 \times 10^{11} \times 605 \times 10^{-8}} = 0,00043 \text{ mm} < \frac{838}{200} = 4,19 \text{ mm}$$

La marche est vérifiée à la flèche.

- **Vérification de la résistance:**

La condition de la résistance est la suivante :

(D'après eurocode 3, page 5.4.5 page 152)

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 \times L^2}{8} = \frac{129,9 \times 0,83^2}{8} = 11,18 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y \times W_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5 \times 14,80}{1,1} = 316,18 \text{ daN.m}$$

$$11,18 \leq 316,18$$

Donc : la marche est vérifiée à la résistance.

V.9.4 Calcul de limon :

Après une succession des calculs, nous avons abouti que le profilé UPN140, convient comme un limon.

Les caractéristiques de l'UPN 140 :

$$L = 8,485 \text{ m.}$$

$$P = 16 \text{ kg/m}$$

$$A = 20,4 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 605 \text{ cm}^4$$

$$W_{pl,y} = 103 \text{ cm}^3$$

- ❖ **Évaluation de la charge**

Une volée contient deux limons, et chaque limon doit supporter la moitié de la charge et de la surcharge exercée sur la volée.

- **La charge permanente**

$$\text{La marche : } G = 0,5(16 \times 0,83) = 6,64 \text{ daN/m.}$$

$$\text{La masse de profil } G_1 = 16 \text{ daN/m.}$$

$$G_{\text{total}} = 18,38 \text{ daN} + 16 = 22,64 \text{ daN/m.}$$

✓ La longueur d'une marche : 0,83 m.

✓ Le nombre des marches $n = 7,2/h = 7,2/0,24 = 30$ marches.

✓ La longueur totale du limon : 10,24 m.

- **La surcharge d'exploitation :**

$$P = 100 \times 0,83 = 83 \text{ daN/m.}$$

- **La charge non pondérée :**

$$G = 86 \times 0,22 = 21,5 \text{ daN/m.}$$

$$Q_1 = G + P = 104,5 \text{ daN/m.}$$

- **La charge pondérée :**

$$Q_2 = 1,35 \times 21,5 + 1,5 \times 83 = 153,52 \text{ daN/m.}$$

- ✓ **La vérification de la flèche**

Le limon doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5 \times Q_1 \times \text{Cos} \alpha \times L^4}{384 \times E \times I_y} \leq \frac{L}{200}$$

Avec : $\alpha = 45^\circ$ l'angle d'inclinaison de limon.

$$f = \frac{5 \times 104,5 \times 10^{-2} \times \text{Cos} 45^\circ \times 1024,4^4}{384 \times 2,1 \times 10^{11} \times 605 \times 10^{-8}} = 0,43 \text{ cm} \leq \frac{1024,4}{200} = 5,122 \text{ cm}$$

Donc le limon est vérifié à la flèche.

✓ **Vérification de la résistance :**

(Eurocode 3 page 193.4-4-3)

La condition de la résistance est la suivante :

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{sdy} = \frac{Q_2 \times \cos \alpha \times L^2}{8} = \frac{153,52 \times \cos 45^\circ \times 10,24^2}{8} = 1422,85 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y \times W_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235 \times 14,80}{1,1} = 3161,81 \text{ daN.m}$$

$$M_{sdy} = 1422,85 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 3161,81 \text{ daN.m, Condition vérifiée}$$

✓ **Effort tranchant (la compression) :**

(Eurocode 3 page 193.4-4-4)

Pour que le limon résiste à effort tranchant (la compression) il faut que :

$$N_{sd} \leq N_{Rd}$$

 N_{sd} : effort de compression

$$N = Q_2 \times \sin \alpha \times L = 153,52 \times \sin 45^\circ \times 10,24 \times 10^{-2} = 11,11 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 11,11 \text{ kN}$$

 N_{Rd} : effort normal de la plastification

$$N_{Rd} = \frac{A \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2040 \times (235 \times 10^{-3})}{\sqrt{3} \times 1,1} = 251,61 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 251,61 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 11,11 \leq N_{Rd} = 251,91 \text{ kN, Condition vérifiée}$$

▪ **Interaction effort tranchant et moment fléchissant :**

$$N_{sd} \leq \frac{N_{Rd}}{2}$$

$$N_{sd} = 11,11 \text{ kN} \leq \frac{N_{Rd}}{2} = \frac{251,61}{2} = 125,80 \text{ kN}$$

Donc n'pas d'interaction effort tranchant et moment fléchissant

V.9.5 Calcul de palier de repos :

Nous avons prévu pour le palier de repos, une tôle striée d'épaisseur 7mm, posée sur des poutres UPN140, comme l'indique la figure ci-dessous :

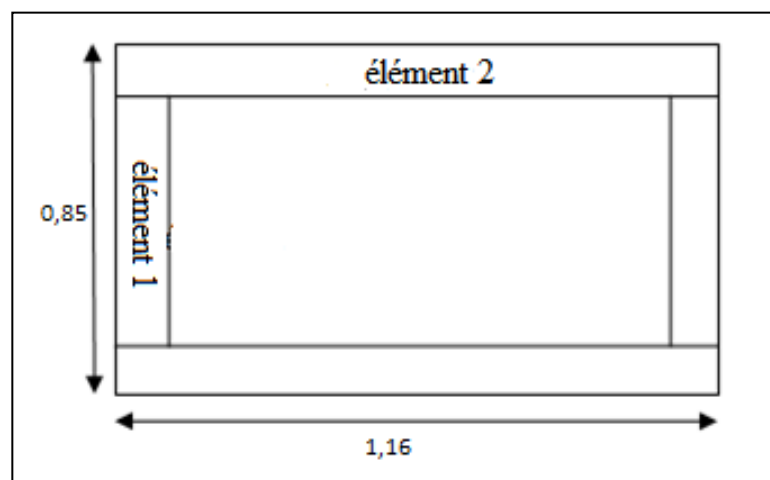


Figure V. 14: Palier de repos

V.9.5.1 La tôle :

- **La charge permanente :**

$$G = \rho \times e = 7850 \times 0.007 = 54,95 \text{ dan/m}^2$$

- **La surcharge d'exploitation :**

$$P = 200 \text{ dan/m}^2$$

- **La charge non pondérée :**

$$Q_1 = G + P = 54,95 + 200 = 254,95 \text{ dan/m}^2$$

- **La charge pondérée :**

$$Q_2 = 1.35 \times G + 1.5 \times P = 1.35 \times 54,95 + 1.5 \times 200 = 274,18 \text{ dan/m}^2.$$

- ❖ **La vérification de la flèche :**

$$f = \frac{0.0277 \times Q_1 \times L^4}{E \times e^3} \leq \frac{L}{200}$$

Avec : $e = 7 \text{ mm}$

$$L = 855 \text{ mm}$$

$$b = 1160 \text{ mm}$$

$$f = \frac{0.0277 \times 254,95 \times 10^{-6} \times 855^4}{21000 \times 10^3} = 017 \text{ mm} \leq \frac{855}{200} = 4,27 \text{ mm} ; \text{ Condition vérifiée}$$

V.9.5.2 Élément 1 : UPN140

Cette poutre des charge et surcharges de palier de repos

$$I_y = 605 \text{ cm}^4 \quad W_{pl,y} = 103 \text{ cm}^3$$

$$P = 16 \text{ Kg/m}^2 \quad L = 0,85 \text{ m}$$

- **La charge permanente :**

$$\text{La tôle : } G = 78.5 \times 0.85 = 66,72 \text{ dan/m.}$$

$$\text{La masse de profile (UPN140) : } G_{\text{profile}} = 16 \text{ dan/m.}$$

$$G_{\text{total}} = 66,72 + 16 = 82,72 \text{ dan/m.}$$

- **La surcharge d'exploitation :**

$$P = 200 \times 0.85 = 170 \text{ dan/m}$$

- **La charge non pondérée :**

$$Q_1 = G + P = 82,72 + 170 = 252,72 \text{ dan/m.}$$

- **La charge pondérée :**

$$Q_2 = 1.35 \times 82,72 + 1.5 \times 170 = 366,67 \text{ dan/m.}$$

- **La vérification de la flèche :**

Le limon doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5 \times Q_1 \times L^4}{348 \times E \times I_y} \leq \frac{L}{200}$$

$$f = \frac{5 \times 252,72 \times 10^{-2} \times 85^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 605} = 0.001 \text{ cm} \leq \frac{85}{200} = 0,42 \text{ cm} ; \text{ Condition vérifiée}$$

▪ **Vérification de la résistance :**

La condition de la résistance est la suivante :

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{sdy} = \frac{Q_2 \times L^2}{8} = \frac{366,67 \times 0,85^2}{8} = 33,11 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y \times W_{pl,y}}{\gamma_{Mo}} = \frac{23,5 \times 103}{1,1} = 2200,45 \text{ daN.m}$$

$$M_{sdy} = 33,11 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 2200,45 \text{ daN.m}$$

Condition vérifiée

V.9.5.3 Élément 2 : UPN140

Cette poutre des charge et surcharges de palier de repos

$$I_y = 605 \text{ cm}^4 \quad W_{pl,y} = 103 \text{ cm}^3$$

$$P = 16 \text{ Kg/m}^2 \quad L = 1,16 \text{ m}$$

• **La charge permanente :**

$$\text{La tôle : } G = 78,5 \times 1,16 = 91,06 \text{ daN/m}$$

$$\text{Masse de profil (UPN140) } G_1 = 16 \text{ daN/m}$$

$$G_{\text{total}} = 91,06 + 16 = 107,06 \text{ daN/m}$$

• **La surcharge d'exploitation :**

$$P = 200 \times 1,16 = 232 \text{ daN/m}$$

• **La charge non pondérée :**

$$Q_1 = G + P = 107,06 + 232 = 339,06 \text{ daN/m}$$

• **La charge pondérée :**

$$Q_2 = 1,35 \times 107,06 + 1,5 \times 232 = 492,53 \text{ daN/m}$$

▪ **La vérification de la flèche :**

Le limon doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5 \times Q_1 \times L^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times I_y} \leq \frac{L}{200}$$

$$f = \frac{5 \times 339,06 \times 10^{-2} \times 1,16^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 605} = 0,0062 \text{ cm} \leq \frac{1,16}{200} = 0,58 \text{ cm}$$

Condition vérifiée.

▪ **Vérification de la résistance :**

La condition de la résistance est la suivante :

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{sdy} = \frac{Q_2 \times L^2}{8} = \frac{492,53 \times 1,16^2}{8} = 82,84 \text{ daN.m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y \times W_{pl,y}}{\gamma_{Mo}} = \frac{23,5 \times 103}{1,1} = 2200,45 \text{ daN.m}$$

$$82,84 \leq 2200,45 ; \text{ Condition vérifiée}$$

V.9.6 Calcul de la console :▪ **Calcul la console**

Console est placée sur chaque 1.68m de hauteur.

Longueur de la console : $L=1\text{m}$, $\alpha= 45^\circ$

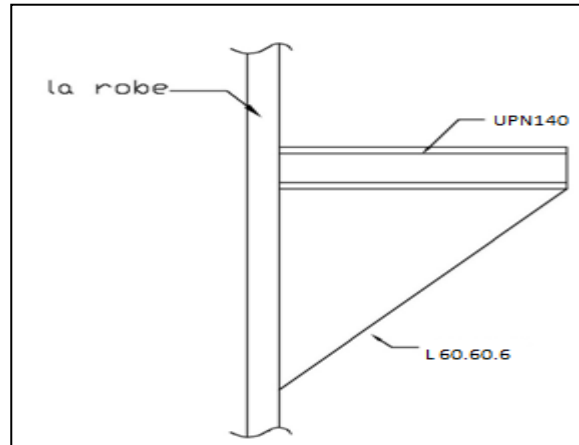


Figure V. 15: Schéma de la console.

$$Q = G_{\text{marche}}/2 + q_{\text{exploitation}} = 16/2 + 200 = 208 \text{ daN}$$

$$Q_{\text{console}} = \frac{Q}{\cos \alpha} = \frac{208}{\cos 45^\circ} = 273,68 \text{ daN}$$

✓ **Vérification**❖ **Vérification à la compression :**

Eurocode 3

$$\text{Classe de section : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\frac{h}{t} = \frac{60}{6} = 10 \leq 15\varepsilon = 15$$

$$\frac{b+h}{2t} = \frac{60+60}{2 \times 6} = 10 \leq 11,5\varepsilon = 11,5$$

D'où la section est de classe 3.

$$\text{Donc : } N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma \times M_0} = \frac{20,41 \times 235}{1,1} = 4358,18 \text{ daN.}$$

$$N_{sd} = 273,68 \text{ daN} \leq N_{c,Rd} = 4358,18 \text{ daN}$$

La console L60x60x6 reseté bien à la compression

❖ **Vérification au flambement :**

On a : $N_{sd}=273,68$ daN

Ou : $\beta_A=1$ pour section 3

Vérification au flambement, il faut vérifier : $N_{sd,y} \leq N_{bRd,y}$

$$N_{cRd,y} = \frac{x \times \beta_A \times f_y \times A}{\gamma_{M_0}}$$

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

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M_0}}$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + [\Phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{1/2}} \leq 1$$

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

Avec: α : est un facteur d'imperfection

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

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right) [\beta_A]^{1/2}$$

Avec: $L_y = 0,5.L = 0,5 \times 141 = 70.5$ cm

$$\lambda = \frac{L_y(\text{flambement})}{I_y} = \frac{70.5}{1.36} = 51.83$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times \varepsilon \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times 1 = 93.9$$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{51.83}{86.76}\right) [1]^{1/2} = 0.55 > 0.2 \text{ il y a risque de flambement}$$

On a une cornière donc la courbe de flambement est (c).

$$\alpha = 0.49$$

$$\Phi = 0.5 [1 + 0.49 (0.55 - 0.2) + 0.55^2] = 0.737$$

$$\chi = \frac{1}{0.737 + [0.737^2 - 0.55^2]^{1/2}} = 0.79$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0.79 \times 1 \times 9.4 \times 235 \times 10^2}{1.1} = 158646.36 \text{ daN}$$

$N_{sd,y} < N_{b,Rd,y}$; condition vérifiée donc la console résiste au flambement.

V.10 Conclusion :

On a utilisé uniquement les accessoires les plus importants et non pas ceux qui sont imposés par l'API 650 STD, à ce propos on peut conclure que le toit fonctionne dans la bonne condition.

Chapitre VI

Stabilité de réservoir

VI.1. Stabilité de la robe sous le vent:**VI.1.1 Calcul de la hauteur maximale non raidie (§ 5.9.7 API 650) :**

$$H_{max1} = 9,47 \times t \times \sqrt{(t/D) \times 3 \times (190/V)^2}$$

V : Vitesse de conception de vent (Moyenne de 10 minutes) : V = 130 Km/h

D : Diamètre intérieur du bac : 14.9 m

t : Épaisseur de la dernière virole : 6 mm

$$H_{max1} = 31.0148m$$

VI.1.2. Calcul de la hauteur transformée :

$$W_{tri} = \sum [W_i \sqrt{(t_0 t_i)^5}]$$

W_i : La hauteur des viroles en mm

t₀ : Épaisseur de la dernière virole 6 mm

t_i : Épaisseurs des viroles en mm

Tableau VI. 1: Tableau Récapitulatif des résultats

	Epaisseur des viroles t_i (mm)	Hauteur des viroles (mm)	W_{tri} (m)
V1	12	2400	0.4243
V2	10	2400	0.6693
V3	8	2400	1.1691
V4	7	2400	2.4
V5	6	2400	2.4
V6	6	2400	2.4

$$W_{tr} = \sum W_{tri} = 9.45 \text{ m}$$

$$H_{max1} = 31.0148 \text{ m} > W_{tr} = 9.45 \text{ m}$$

$$H_{max1} > W_{tr}$$

VI.1.3. Conclusion:

Le réservoir est stable et ne nécessite pas un raidisseur.

VI.2. Stabilité du réservoir au vent :**VI.2.1 Moment de basculement dû au vent (§ 5.11 API 650):**

Le basculement au vent doit être calculé en utilisant la pression de vent donnée dans l'article 5.2.1(k) de l'API 650

Le moment de basculement dû au vent est donné par la formule suivante :

$$M_w = \left(PWS \times A_s \times \left(\frac{H_{robe}}{2} \right) \right) + PWR \times AP \times XW$$

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

$$V = 130 \text{ km/h (Vitesse du vent)}$$

$$V_f = (V/190)^2 = 0.4681$$

$$PWR : \text{Dépression de soulèvement sur toit} = 1.44 \times V_f = 0.6741 \text{ Kpa}$$

$$PWS : \text{Pression sur robe} = 0.86 \times V_f = 0.4026 \text{ Kpa} :$$

$$X_w : \text{Bras de levier dû à la Dépression de soulèvement sur toit} = 7.45 \text{ m}$$

$$A_p : \text{Surface Horizontale projetée du toit} = 174.366 \text{ m}^2$$

$$M_{wr} = (PWR \times A_p \times X_w) M_{wr}$$

$$= (674.1274 \times 174.3662 \times 7.45) M_{wr} = 875\,711 \text{ Nm}$$

$$X_s : \text{Mi-hauteur de la robe} = (14.4/2) X_s = 7.2 \text{ m}$$

As : Surface Projetée de la robe = $H_{robe} \times \left(\frac{D}{2} \text{ épaisseurs du calorifuge}\right) \times As =$

$$14.4 \times \left(\frac{14.9}{2} \times 0.12\right) \times As = 218.016 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{Mws} = PWS \times As \times \left(\frac{H_{robe}}{2}\right) \times Mws$$

$$= 0.4026 \times 218.016 \times \left(\frac{14.4}{2}\right) \times Mws = 631\,973 \text{ N-m}$$

$$\mathbf{Mw} = \mathbf{Ms} + \mathbf{Mr} \quad Mw = 631\,973 + 875\,711$$

$$\mathbf{Mw} = 1,507,684.18 \text{ N-m}$$

$$\mathbf{Mw} = 1,507,684.18 \text{ N-m}$$

VI.2.2 Résistance au basculement :

Pour que le bac soit stable et ne nécessite pas d'ancrage, les trois conditions suivantes doivent être vérifiées :

$$1) 0.6 Mw + MPi < \frac{MDL}{1.5} + MDLR$$

$$2) Mw + Fp(MPi) < \frac{MDL+MF}{1.5} + MDLR$$

$$3) Mw + Fp(MPi) < \frac{MDL}{1.5} + MDLR$$

Avec :

MPi : Moment au niveau de robe-fond, dû à la pression interne de conception $MPi = 0$

Fp : Facteur de combinaison de pression (adopté une valeur de 0.4).

Mw : Moment de basculement au niveau de robe-fond dû au vent.

MDL : Moment au niveau de robe-fond, dû au poids de la robe y compris accessoires.

MDLR : Moment au niveau de robe-fond, dû à la charge du toit supportée par la robe.

MF : Moment de stabilisation dû au poids du liquide et au poids fond-robe.

DLS : Poids nominal de la robe et la charpente toiture supporté par la robe.

DLR : Poids Nominal du Toit et accessoires sur toit

wl : Charge circonférentiel sur le pied de robe dû au contenu.

tb : Epaisseur de la tôle de fond sous la robe moins la surépaisseur de corrosion.

$$\mathbf{Mw} = 1,507,684.18 \text{ N-m}$$

$$\mathbf{DLS} = 465,123.45 \text{ N}$$

$$\mathbf{DLR} = 146,310.2645 \text{ N} \quad \mathbf{MPi} = p \times \left(pi \times \frac{D^2}{4}\right) \times \left(\frac{D}{2}\right)$$

$$\mathbf{MPi} = 0 * (3.1416 * 14.9^2 / 4) * (14.9 / 2) = 0 \times 3.1416 \times \left(\frac{14.9^2}{4}\right) \times \left(\frac{14.9}{2}\right)$$

$$\mathbf{MPi} = 0 \text{ Nm}$$

$$\mathbf{MDL} = \mathbf{DLS} \times \left(\frac{D}{2}\right) \mathbf{MDL}$$

$$= 465,123.4541 \times \left(\frac{14.9}{2}\right) \mathbf{MDL}$$

$$= 3,465,170 \text{ N-m}$$

$$\mathbf{MDLR} = \mathbf{DLR} \times \left(\frac{D}{2}\right)$$

$$\mathbf{MDLR} = 146,310.26 \times \left(\frac{14.9}{2}\right)$$

$$\mathbf{MDLR} = 1,090,011 \text{ Nm} \quad ; \text{tb} = 6 \text{ mm}$$

$\mathbf{WL} = \min$ entre $(59 \text{tb} \text{ Fby} \times \mathbf{Hliq})$ et $(140.8 \times \mathbf{Hliq} \times \frac{D}{2})$ Voir §5.11.2.3 API650

$\mathbf{WL} = \min$ entre $(59 \times 6 \times (174.25 \times 12.2))$ et $(140.8 \times 12.2 \times 14.9)$

$$WL = 16,321.857 \text{ N/m}$$

$$MF = \left(\frac{D}{2}\right) \times wl \times pi \times D$$

$$MF = 7.45 \times 16,321.857 \times 3.14 \times 14.9$$

$$MF = 5,691,96 \text{ N.m}$$

Condition 1

$$0.6 \times Mw + mpi < \frac{MDL}{1.5} + MDLR$$

$$0.6 \times 1,507,68 + 0 < \frac{3,465,170}{1.5} + 1,090,011$$

Donc:

904,610 < 3,400,124 : Le réservoir est stable.

Condition 2

$$Mw + FP \times mpi < \frac{MDL+MF}{1.5} + MDLR$$

$$1,507,68 + 0 < \frac{3,465,170 + 5,691,962}{2} + 1,090,011$$

Donc: 1,507,684 < 5,668,577 : Le réservoir est stable

$$\text{Condition 3} \quad Mws + FP \times mpi < \frac{MDL}{1.5} + MDLR$$

$$631,973.427 + 0 < \frac{3,465,170}{1.5} + 1,090,011$$

Donc :

631,973 < 3,400,124 : Le réservoir est stable

VI.2.3 Résistance au glissement (Voir API-650 5.11.4) :

Avec:

F-Frottement : Force de résistance au glissement dû au frottement (Sol et Tôle de fond).

Fvt : Force du vent exerçant sur le bac.

μ : Coefficient de frottement qui ne doit pas dépasser 0.4 (API 650 § 5.11.4).

g : gravité

$$Fvt = PWS \times As \quad Fvt = 87\,774 \text{ N}$$

F-Frottement = $\mu \times [(Masse \text{ tôle du toit corrodé} \times g) + (Masse \text{ tôle de la robe corrodée} \times g) + (Masse \text{ tôle de fond corrodé} \times g) + (Masse \text{ de la charpente} \times g)]$

$$F\text{-Frottement} = 0.4 \times [(6,983.1644 \times 9.8) + (35,203 \times 9.8) + (7,356.4581 \times 9.8) + (5,449.3623 \times 9.8)]$$

$$F\text{-Frottement} = 215,716 \text{ N} > Fvt = 87\,774 \text{ N}$$

VI.2.4. Conclusion:

Le bac est stable aux forces de glissement (cisaillement) du vent et il ne nécessite pas d'ancrage.

La stabilité du réservoir au vent est vérifiée.

VI.3 .Vérification de la Stabilité Du réservoir au séisme :

Vérification par la Méthode dynamique modale spectrale Voir RPA 99/Version 2003

VI.3.1 Paramètres liés à la Réponse dynamique du site et du réservoir:

Zone sismique = Zone IIA

Groupe de site : A1

Zone de neige : Zone A

Ac : (Coefficient d'accélération de spectre de réponse convective) = 0.072 (Voir RAP 99/2003) pour une période $T_c = 4.03s$

Af : (Coefficient d'accélération de la vague dû au ballonnement) = 0.1431

Ai : (Coefficient d'accélération de spectre de réponse impulsive) = 0.260 pour une période $T_i = 0.166$ (Voir RAP 99/ 2003) Système d'ancrage : Mécanique.

Av (Coefficient d'accélération Vertical) = 0.485 (Déduit de l'API)

D (Diamètre nominal du réservoir) = 14.9 m

H (Hauteur maximale du produit) = 12.2 m

I (Facteur d'importance) = 1.0

K (Coefficient d'ajustement d'accélération spectrale) = 1.5

Q (Facteur d'échelle) = 1

Rwc (Facteur de réduction de la force convective) = 2

Rwi (Facteur de réduction de la force impulsive) = 4

Class du site = Zone IIA Classification des ouvrages = Groupe A1

TL : Période de transition (dépendant de la région) pour la plus longue période de tremblement de terre = 12 sec

D/H = Rapport du diamètre sur la hauteur du liquide

Fc = Contrainte de compression longitudinale Admissible

Fty = Limite d'élasticité de la virole

Fy = Limite d'élasticité de la tôle marginale

Gravité (g) = 9.8 m/s^2 .

Ge = gravité spécifique en considérant les effets verticaux du séisme

k = Coefficient d'ajustement spectrale de 5% à 0.5% de la 'amortissement

Mrw = Moment de renversement au niveau du pied de robe dû au séisme.

Ms = Moment de renversement au niveau des fondations

Nc = Contrainte circonférentielle convective sur la robe.

Ni = Contrainte circonférentielle Impulsive sur la robe.

RCG = Hauteur depuis la cornière de rive jusqu'au centre de gravité du toit.

Sd1 = Paramètre de réponse spectrale (amortissement 5%) à 1 seconde.

Sds = Paramètre de réponse spectrale (amortissement 5%) à 0.2 seconde

SigC = Contrainte maximale de compression longitudinale sur robe

SigC-ancrage = Contrainte maximale de compression longitudinale sur robe avec ancrage

ta = Epaisseur de la tôle marginales sans la surépaisseur de corrosion

ts1 = Epaisseur de la première virole.

tu = Epaisseur équivalent de la robe

wa = Force de résistance au soulèvement au niveau des tôles marginales.

Wc = Poids effective du produit en mode convectif.

Weff = Poids effectif dû au séisme.

Wf = Poids des Tôles du fond (inclure tôles marginales).

Wi = Poids effectif du produit en mode Impulsif.

wint = Charge de soulèvement dû à l'effet de la pression interne sur la robe

Wp = Poids Total du produits.

Wr = Poids Total de la structure incluant 10% du poids de la neige

Wrs = Charge total du toit reposant sur la robe incluant 10% du poids de la neige.

Ws = Poids de la robe.

wt = Poids de la robe et du toit.

Xc = Centre d'action des forces sismique latérale sur le réservoir pour le mode convectif.

Xi = Centre d'action des forces sismique latérale sur le réservoir pour le mode impulsif.

Xr = Centre de gravité du toit par rapport au fond du réservoir

Xs = Centre de gravité de la robe par rapport au fond du réservoir Y = la distance en m de la surface du liquide jusqu'au point de l'analyse.

Sig t = Contrainte circonférentielle totale

On a :

Coefficient de ballonnement : API 650 Section E.4.5.2

$$K_s = 0.578 / \text{SQRT}(\text{TANH}(((3.68 \times \text{Liq_max}) / D)))$$

$$= 0.578 / \text{SQRT}(\text{TANH}(((3.68 \times 12.2) / 14.9))) = 0.5794$$

Période du mode convective du réservoir : API 650 Section E.4.5.2

$$T_c = 1.8 \times K_s \times \text{SQRT}(D)$$

$$= 1.8 \times 0.5794 \times \text{SQRT}(14.9) = 4.0257 \text{ sec}$$

Réponse d'accélération spectrale pour une période courte : API 650 Sections E.4.6.1

$$\text{SDS} = A_i \times (R_{wi} / I) = 0.26 \times (4 / 1.0) = 1.04$$

Réponse d'accélération spectrale pour une période d'une seconde : API 650 Sections

E.4.6.1 $\text{SD1} = (A_c / K) \times T_c \times (R_{wc} / I)$

$$= (0.072 / 1.5) \times 4.0257 \times (2 / 1.0) = 0.3865$$

Coefficient d'accélération verticale du sol API 650 Section E.6.1.3 et E.2.2

$$A_v = (2 / 3) \times 0.7 \times \text{SDS} = (2 / 3) \times 0.7 \times 1.04 = 0.4853$$

VI.3.2 Les charges permanentes :

$$W_s = 53,283 \text{ kN ou } 522,525.6266 \text{ N}$$

$$W_f = 10,346 \text{ kN ou } 101,459.6796 \text{ N}$$

$$W_r = 35,855 \text{ kN ou } 351,621.7724 \text{ N}$$

VI.3.3 Poids effective du produit dû au séisme

$$D/H = 1.2213$$

$$W_p = 2,339,995 \text{ kN}$$

$$W_i = (1 - (0.218 \times D/H)) \times W_p$$

$$W_i = (1 - (0.218 \times 1.2213)) \times 2,339,995$$

$$W_i = 1,716,981 \text{ kN}$$

$$W_c = 0.23 \times D/H \times (3.67 \times H/D) \times W_p$$

$$W_c = 0.23 \times 1.2213 \times (3.67 \times 0.8188) \times 2,339,995$$

$$W_c = 654,090 \text{ kN}$$

$$W_{\text{eff}} = W_i + W_c$$

$$W_{\text{eff}} = 1,716,981 + 654,090$$

$$W_{\text{eff}} = 2,371,070.8497 \text{ kN}$$

$$W_{rs} = 35,855 \text{ kN}$$

VI.3.4 Centre de gravité de la robe et du toit par rapport au fond du réservoir (Xr et Xs):

$$\text{RCG} = 1/3 \times R \times (\text{Theta})$$

$$\text{RCG} = 1/3 \times 7478 \times (9.4623)$$

$$\text{RCG} = 415.4444 \text{ mm ou } 0.4154 \text{ m}$$

$X_r = \text{Hauteur de robe} + \text{RCG}$

$X_r = 14.4 + 0.4154$

$X_r = 14.8154 \text{ m}$

$X_s = 6.1 \text{ m}$

VI.3.5 Centre d'action des forces sismique latérale sur le réservoir (Xi et Xc)

$$X_i = (0.5 - (0.094 \times D/H)) \times H$$

$X_i = (0.5 - (0.094 \times 1.2213)) \times 12.2$

$X_i = 4.6994 \text{ m}$

$$X_c = (1 - ((3.67 \times H/D) - 1) / ((3.67 \times H/D) \times (3.67 \times H/D))) \times H$$

$X_c = (1 - ((3.67 \times 0.8188) - 1) / ((3.67 \times 0.8188) \times \text{SINH}(3.67 \times 0.8188))) \times 12.2$

$X_c = 8.5233 \text{ m}$

VI.3.6 Calcul des contraintes hydrodynamiques :

Tableau VI. 2: Tableau Récapitulatif des résultats

	Hauteur virole (m)	Y (m)	Ni (N/mm)	Nc (N/mm)	Nh (N/mm)	SigT+ (MPa)	SigT- (MPa)
Désignation virole							
Virole 1	2.4	11.8952	165.0866	3.198	955.5355	100.32	58.9334
Virole 2	2.4	9.4952	161.977	3.9274	762.74	98.223	54.3256
Virole 3	2.4	7.0952	143.6333	6.0776	569.95	93.920	48.5683
Virole 4	2.4	4.6952	110.002	10.426	377.16	84.952	40.7687
Virole 5	2.4	2.2952	61.0833	18.547	184.37	42.926	18.5311
Virole 6	2.4	-0.1048	-3.122	33.377	-8.418	4.1908	-6.9969

VI.3.7 Vérification des contraintes hydrodynamique pour chaque virole**Tableau VI. 3: Tableau Récapitulatif des résultats**

Désignation virole	SigT+	Sd * 1.333	Fy * 0.9	Contrainte admissible	t-Min	Etats des Contraintes sur les Viroles
Virole 1	100.3224	154.8501	156.825	154.8501	8.8308	Acceptable
Virole 2	98.2232	154.8501	156.825	154.8501	6.7088	Acceptable
Virole 3	93.9201	154.8501	156.825	154.8501	5.2456	Acceptable
Virole 4	84.9522	154.8501	156.825	154.8501	3.743	Acceptable
Virole 5	42.9263	154.8501	156.825	154.8501	2.386	Acceptable
Virole 6	4.1908	154.8501	156.825	154.8501	1.1353	Acceptable

VI.3.8. Conclusion :

Le bac résiste aux contraintes Hydrodynamique dues au séisme.

VI.4. Calcul du moment de renversement au niveau du pied de robe (Mrw):

$$Mrw = ((A_i \times [(W_i \times g) \times X_i + (W_s \times g) \times X_s + (W_r \times g) \times X_r])^2 + [A_c \times (W_c \times g) \times X_c]^2)^{0.5}$$

$$Mrw = ((0.26 \times [(1,716,981 \times 9.8) \times 4.6994 + (53,283 \times 9.8) \times 6.1 + (35,855 \times 9.8) \times 14.8154])^2 + [0.072 \times (654,090 \times 9.8) \times 8.5233]^2)^{0.5}$$

$$Mrw = 23,094,331.9139 \text{ Nm}$$

VI.4.1. Vérification des conditions d'ancrage :**VI.4.1.1. Détermination du rapport J:**

On a

Fy = limite d'élasticité des tôles marginales : 174.25 Mpa

d : densité du produit

On a :

$$G_e = S.G. \times (1 - 0.4 \times A_v)$$

$$G_e = 1.1 \times (1 - 0.4 \times 0.4853)$$

$$G_e = 0.8865$$

On a:

$$w_a = \min (99 \times t_a \times (F_y \times H \times G_e)^{0.5} \text{ et } 201.1 \times H \times D \times G_e)$$

$$w_a = \min (99 \times 6 \times (174.25 \times 12.2 \times 0.8865)^{0.5} \text{ et } 201.1 \times 12.2 \times 14.9 \times 0.8865)$$

$$w_a = (25,786.01 \text{ et } 32,405.68)$$

$$w_a = 25,786.01 \text{ N/m}$$

On a :

$$wt = (Wrs + Ws) / (\pi \times D)$$

$$wt = (35,855 + 53,283) / (3.1416 \times 14.9)$$

$$wt = 18,674.4804 \text{ N/m}$$

Avec J :

$$J = Mrw / (D^2 \times [wt \times (1 - 0.4 \times Av)] + wa - 0.4 \times wint)$$

$$J = 23,094,331.9139 / (14.9^2 \times [18,674.4804 \times (1 - 0.4 \times 0.4853)] + 25,786.0182 - 0.4 \times 0)$$

$$J = 2.5474$$

Avec :

$$J > 1.54$$

Donc le réservoir est instable et il nécessite un ancrage

VI.4.2 Condition 2 Vérification de la largeur des tôles marginales

On a :

L = Largeur des tôles marginales requis

Ls = Largeur des tôles marginales Calculé.

On a :

$$L = \min \text{ entre } (0.035 \times D \quad \text{et} \quad \max \text{ entre } (0.45, 0.01 \times ta \times (Fy / (H \times Ge))^{0.5}))$$

$$L = \min (0.035 \times 14.9 \quad \text{et} \quad \max (0.45, 0.01 \times 6 \times (174.25 / (12.2 \times 0.8865))^{0.5}))$$

$$L = \text{MIN} (0.5215) \quad \text{et} \quad \max (0.45, 0.415)$$

$$L = \min \text{ entre } (0.5215 \text{ et } 0.45)$$

Donc :

$$L = 0.45 \text{ m}$$

Avec

$$Ls = 0.72 \text{ m}$$

Donc $Ls > L$ La condition est vérifié

VI.4.3 Condition 3 Vérification de l'épaisseur des tôles marginales par rapport la robe

L'épaisseur de la tôle marginale « ta » de fond du bac ne doit pas être supérieure à l'épaisseur de la première virole ts de la robe (sans prendre la surépaisseur de corrosion):

$$Ta = 6 \text{ mm} < Ts = 9 \text{ mm}$$

➤ condition vérifié

VI.4.4 Condition 4 Vérification de La résistance de la robe aux contraintes de compression

longitudinale :

VI.4.4.1 Détermination de la contrainte de compression admissible Fc :

$$\text{Sachant que lorsque : } GH \left(\frac{D}{t}\right)^2 \geq 44$$

$$\text{Alors : } Fc = 83 \text{ ts}/D,$$

$$\text{Et lorsque : } GH \times \left(\frac{D}{t}\right)^2 < 44$$

Alors :

$$FC = 83 \text{ ts} / (2,5 D) + 7,5 \sqrt{GH} < 0,5 Fty;$$

On a :

$$[G \times H \times D^2 / ts^2] < 44$$

On a :

$$[1.1 * 12.2 * 14.9^2 / 9^2] < 44$$

$$\text{On a: } 36.78 < 44$$

$$\text{Alors : } F_c = (83 \times t_s) / (2.5 \times D) + (7.5 \times (G \times H))$$

$$F_c = (83 \times t_s) / (2.5 \times D) + (7.5 \times (SG \times H))$$

$$F_c = (83 \times 9) / (2.5 \times 14.9) + (7.5 \times (1.1 \times 12.2))$$

$$F_c = 47.5286 \text{ MPa}$$

VI.4.4.2 Contrainte Compression pour un réservoir mécaniquement ancré

Avec :

$$\text{SigC- ancré} = [Wt \times (1 + (0.4 \times Av)) + (1.273 \times Mrw) / D^2] (1 / (1,000 \times t_s))$$

$$\text{SigC- ancré} = [18,674.4804 \times (1 + (0.4 \times 0.4853)) + (1.273 \times 23,094,331.91) / 14.9^2] \times (1 / (1,000 \times 9))$$

$$\text{SigC - ancré} = 17.1913 \text{ MPa}$$

On a :

$$\text{SigC-ancré} < F_c.$$

VI.4.4.3.Conclusion :

La troisième condition est vérifiée; le bac résiste aux contraintes de compression longitudinale dues au séisme.

VI.5. Condition 5 flexibilité de tuyauterie (Tableau E.8):

Les conditions de flexibilité de pipe doivent être satisfaisantes.

On a :

$$J = 2.54 > 1.54$$

Pour un bac avec un ancrage, le déplacement de pipe connecté à la robe du bac est donné par :

- Déplacement vertical au sens dessus pour les supports et la fondation: 25mm
- Déplacement vertical au sens dessous pour les supports et la fondation: 13mm
- Déplacement horizontale (radial et tangentiel) pour les supports et fondation : 13mm

La flexibilité de la tuyauterie à raccorder au bac doit satisfaire aux déplacements cités ci-dessus, pour qu'il n'y ait pas de cisaillement de la tuyauterie au niveau de raccordement avec le bac.

VI.6. Résistance aux forces de cisaillement :

VI.6.1. Forces de glissement dû au séisme

On a :

V = Force du cisaillement dû au séisme Vc = force de cisaillement dû au mode convectif des composantes des poids effectifs du bac et ses contenants Vi = force de cisaillement dû au mode impulsif des composantes des poids effectifs du bac et ses contenants

On a:

$$V_i = A_i \times (W_s + W_r + W_f + W_i) \quad V_i = 0.26 \times (53,283 + 35,855 + 10,346 + 1,716,981)$$

$$V_i = 472,281 \text{ kN}$$

$$V_c = A_c \times W_c$$

$$V_c = 0.072 \times 654,090$$

$$V_c = 47,094 \text{ kgf}$$

$$V = (V_i^2 + V_c^2)$$

$$V = (472,281^2 + 47,094^2)$$

$$V = 474,623.1943 \text{ kgf}$$

$$\mu = 0.4 \text{ (Coefficient de frottement)}$$

$$V_s = \mu \times (W_s + W_r + W_f + W_p) \times (1 - 0.4 \times A_v)$$

$$V_s = 0.4 \times (53,283 + 35,855 + 10,346 + 2,339,995) \times (1 - 0.4 \times 0.4853)$$

$$V_s = 786,371.0105 \text{ kN}$$

On a :

$V < V_s$ Condition vérifiée, le réservoir ne nécessite pas un renforcement.

VI.6.2. Vérification du cisaillement tangentielle

On a :

A+B : largeur du joint pied de robe = 13mm

Fty : Limite d'élasticité du Métal de base = 174.25 Mpa

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

$$V_{\max} = 2 \times 474,623.1943 / (3.1416 \times 14.9)$$

$$V_{\max} = 20,278.8261 \text{ kN/m}$$

Avec :

$$V_{\max} / (A + B) < 0.8 F_{by}$$

$$15.59 \text{ Mpa} < 139.4 \text{ Mpa}$$

➤ Condition vérifiée.

VI.7. Dimensionnement du système d'ancrage:

Type de tige d'ancrage : tige Marteau Nombre de tige : 32 Matériau de la tige: A36

Limite d'élasticité de la tige $F_y = 248.2112 \text{ MPa}$

Espacement entre tige = 1.48 m < 3m (Espacement vérifié).

Avec :

U : Effort de traction sur le bac dû au séisme

bt : Charge par Tige.

W2 : Poids totale du réservoir corrodé vide = 739,624.3449 N

N : Nombre de tige

Sd : contrainte admissible par tige = $F_y \times 0.8 = 198.569 \text{ Mpa}$.

On a:

$$U = [4 \times Mrw / D] - W2 \times (1 - 0.4 \times A_v)$$

$$U = [4 \times 23,094,332 / 14.9] - 785,025.5544 \times (1 - 0.4 \times 0.4853)$$

$$U = 5,567,184.2542 \text{ N}$$

$$bt = U/N \quad bt = 173,078.0234 \text{ N}$$

Calcul de la section active pour une tige

Section active d'une tige = bt / sd

Section active = bt / sd

$$\text{Section active} = 173,974.5079 / 198.569$$

$$\text{Section active} = 876.1412 \text{ mm}^2$$

Diamètre d'une tige fileté correspondant la section active $\approx M42$

Diamètre de la tige Adopté : $\emptyset M42$.

VI.8. Conclusion :

- Le réservoir est stable au renversement du séisme ; Donc il ne nécessite pas des ancrages.
- Le réservoir résiste à la rupture et au glissement dus aux forces du cisaillement causées par un éventuel séisme.

Chapitre VII

Fabrication et montage

VII.1 Introduction :

La fabrication en atelier est très importante pour assurer la rapidité d'exécution, elle concerne tous les éléments de réservoir tel que le découpage et le cintrage des tôles, préparation de charpente de toit et les accessoires...etc. Le fabricant ne peut modifier qu'après approbation du client.

VII.2 Procédure de fabrication :

VII.2.1 Contrôle des plans et des documents :

La qualité de la fabrication des différentes pièces des réservoirs doit être en conformité en tout point avec les plans et documents qui sont :

- Plan d'ensemble et de détails.
- Procédure de soudage.

VII.2.2 Tôlerie :

Il faut qu'il y ait une vérification dimensionnelle des tôles brutes tel que :

- Longueurs ;
- Largeurs ;
- L'épaisseur des tôles brutes.

VII.2.3 Traçage :

Le traçage consiste à l'élaboration des croquis et épures sur la base des plans d'engineering. Tracer toute la forme des tôles utilisés dans le fond, la robe et le toit sur les tôles brutes pour couper ses formes par oxycoupage.

VII.2.4 Préparation :

La préparation consiste à l'établissement des bons de travail et des bons de matière et à effectuer le suivi des affectations de matière.

VII.2.5 Tolérance :

Avant le découpage des tôles brutes, il faut qu'il ait une vérification dimensionnelle des tôles. Les tolérances de découpage seront les suivantes :

- Largeur : $\pm 1,5$ mm
- Longueur : ± 2 mm
- En diagonale : ± 3 mm

Après découpage, la tôle sera chanfreinée selon des dimensions données sur les plans. Le contrôle dimensionnel se fait au fur for et à mesure du chanfreinée.

Le nettoyage des zones traitées, à savoir : meulage des bords, s'effectuera en atelier d'assemblage, après cela la tôle sera mise sur rouleau cintreur, au rayon demandé.

La tôle une fois prête, elle sera posée sur le berceau ayant le même rayon de cintrage dont la charge utile ne dépasse pas 20 T.

VII.2.6 Débitage des tôles :

Le débitage consiste à la préparation des bords des tôles par cisailage ou oxycoupage en conformité aux instructions du traçage (croquis). Le cisailage ne peut être utilisé pour les tôles

d'épaisseur supérieure à 10 mm (API 650 – 6.1.2). Les tôles débitées sont contrôlées et identifiées par un marquage.

VII.2.7 Chan- freinage des tôles :

Après découpage, la tôle sera chanfreinée par usinage ou oxycoupage selon les dimensions données sur plans. Le contrôle dimensionnel se fait au fur et à mesure du chan-freinage.

- Tôle marginale : chanfrein en V
- Tôles centrale : sans chanfrein
- Tôles de la robe : chanfrein en V et X

VII.2.8 Le cintrage ou roulage des tôles :

Le nettoyage de zinc traitées, à savoir meulage des bords, des scories etc...s'effectuera en atelier d'assemblage. Après cela, la tôle sera mise sur rouleau de cintreuse, au rayon demandé. La tôle une fois prête sera posée sur berceaux ayant le même rayon de cintrage dont la charge utile ne dépasse pas 20T.



Figure VII. 1: Gand rouleuse lisse.

VII.2.9 Perçage :

Les tôles, si c'est requis sont percées sur machine ou par poinçonnage. Poutres et chevrons

- Après débitage de la matière nécessaire, l'opération de découpage et perçage s'effectuera sur une chaîne-multibroche.
- Les opérateurs superviseront le découpage selon les recommandations des plans.
- Le cintrage des pièces s'effectuera selon les rayons demandés.
- L'assemblage et le soudage des pièces constitueront la dernière opération avant leur acheminement vers le colisage puis l'expédition.

VII.2.10 Accessoire (fabrication unitaire) :**VII.2.10.1 Tubulures :**

- Le découpage des tubes se fera à la scie mécanique, selon les plans.
- La soudure des brides et des tubes se fera, selon les plans.

VII.2.10.2 Trou d'homme :

- Les cols de trou d'homme seront façonnés par oxycoupage d'une tôle, puis cintrés par laminage à froid.
- Les brides seront façonnées par oxycoupage.
- Le soudage longitudinal se fera sur les clos cintrés et les cols ainsi préparés et les brides seront alors soudées, tout cela selon les plans.
- Pour les trous d'homme sur la robe, le façonnage mécanique se fera pour la finition des brides, selon les plans.

VII.3 Gamme de fabrication :**VII.3.1 Gamme de fabrication du fond :**

- **Présentation des tôles du fond :**

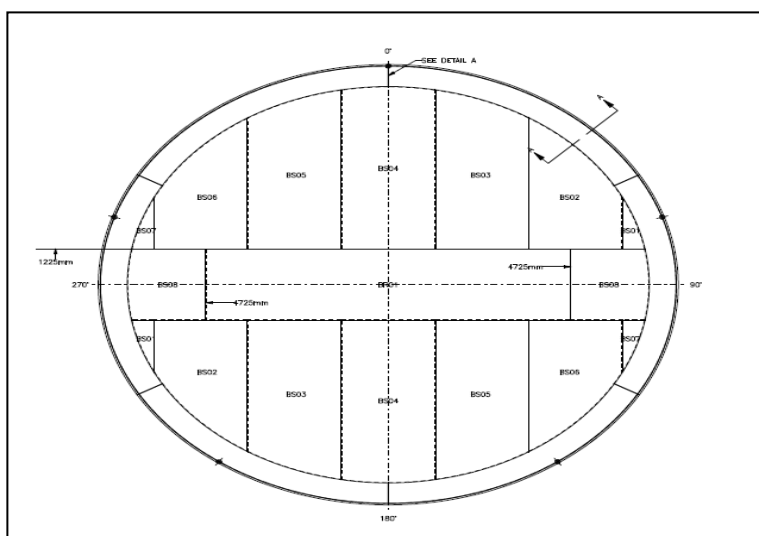
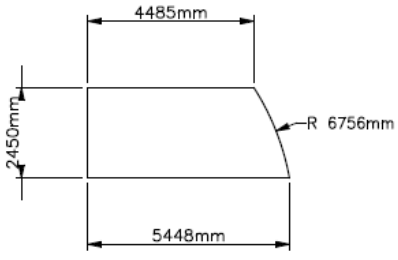
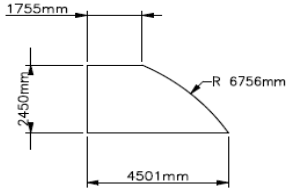
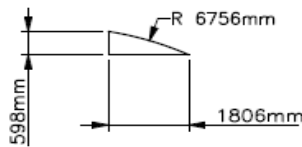
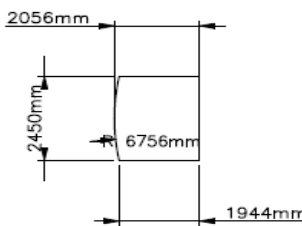


Figure VII. 2: Vue en plans

Présentation des différentes tôles du fond :

Tableau VII. 1: Gamme fabrication du fond

Repère	désignation	croquis	Moyen de découpage
01	A283 grade c	<p>BR01 (1 REQD)</p>	oxycoupage
02	A283 grade c	<p>BS01 (2 REQD)</p>	oxycoupage
03	A283 grade c	<p>BS02 (2 REQD)</p>	oxycoupage
04	A283 grade c	<p>BS03 (2 REQD)</p>	oxycoupage
05	A283 grade c	<p>BS04 (2 REQD)</p>	oxycoupage

06	A283 grade c	 <p>BS05 (2 REQD)</p>	Oxycoupage
07	A283 grade c	 <p>BS06 (2 REQD)</p>	Oxycoupage
08	A283 grade c	 <p>BS07 (2 REQD)</p>	Oxycoupage
09	A283 grade c	 <p>BS08 (2 REQD)</p>	Oxycoupage

VII.3.2 Gamme de fabrication de la robe :

➤ Présentation des tôles de la robe :

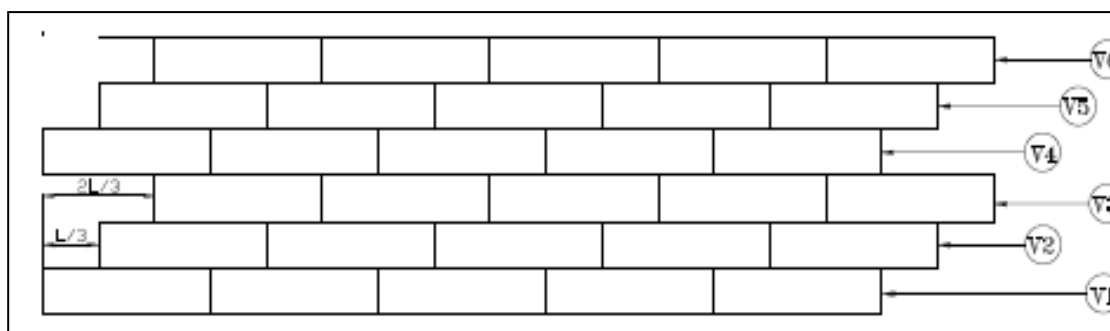
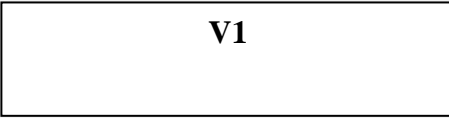
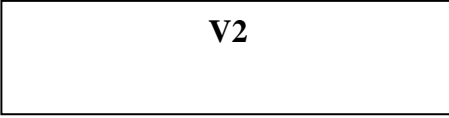
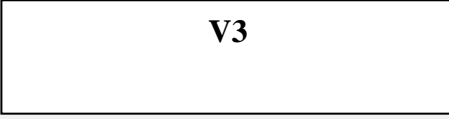
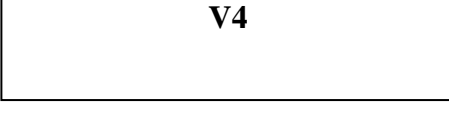

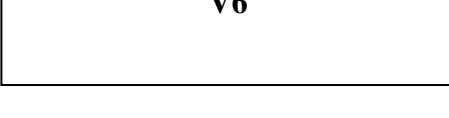


Figure VII. 3: vue extérieur de la robe développée.

➤ **Présentation des différentes tôles de la robe :****Tableau VII. 2: Gamme de fabrication de la robe.**

N°des viroles	Dimension	N°des tôles	croquis
V1	9367,49×2400	5	
V2	9367,49×2400	5	
V3	9367,49×2400	5	
V4	9367,49×2400	5	
V5	9367,49×2400	5	
V6	9367,49×2400	5	

VII.3.3 Gamme de fabrication du toit :

➤ **présentation du toit :**

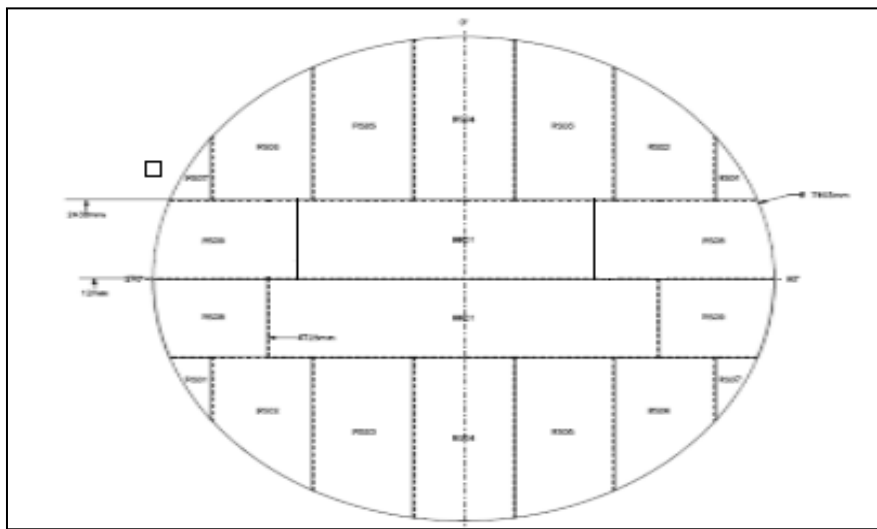
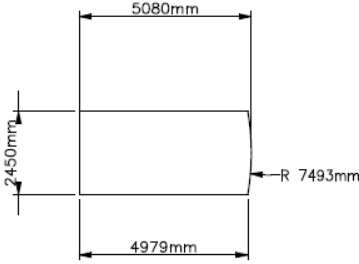
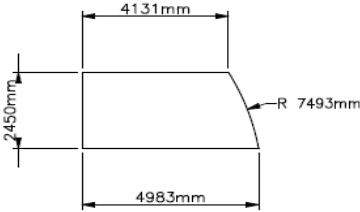
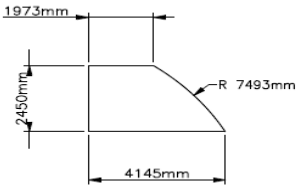
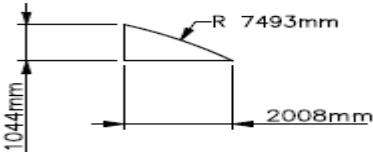
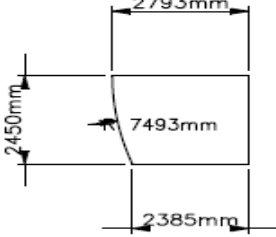


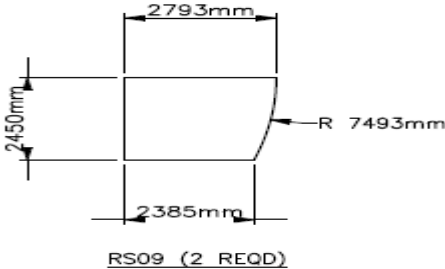
Figure VII. 4: Vue en plans du toit.

Présentation des différentes tôles du toit :

Tableau VII. 3: gamme de fabrication du toit.

repère	désignation	Croquis	Moyen de découpage
01	A283 grade c		oxycoupage
02	A283 grade c		oxycoupage
03	A283 grade c		oxycoupage

<p>04</p>	<p>A283 grade c</p>	 <p>RS04 (2 REQD)</p>	<p>oxycoupage</p>
<p>05</p>	<p>A283 grade c</p>	 <p>RS05 (2 REQD)</p>	<p>oxycoupage</p>
<p>06</p>	<p>A283 grade c</p>	 <p>RS06 (2 REQD)</p>	<p>oxycoupage</p>
<p>07</p>	<p>A283 grade c</p>	 <p>RS07 (2 REQD)</p>	<p>oxycoupage</p>
<p>08</p>	<p>A283 grade c</p>	 <p>RS08 (2 REQD)</p>	<p>oxycoupage</p>

09	A283 grade c		Oxycoupage
----	--------------	--	------------

VII.4 Montage sur chantier :

VII.4.1 Introduction :

Le montage du réservoir doit être bien étudié en utilisant des techniques, des méthodes, ainsi que des procédures de montage afin d'assurer le bon fonctionnement du travail, la rapidité d'exécution, et la sécurité des ouvriers.

Toutes les opérations concernant le montage du réservoir devront être exécutées conformément aux spécifications du code API STD.650 et à norme ASME IX.

En plus, le réalisateur est tenu de respecter également, les plans d'engineering du bac, les plans d'exécution, Plans des fondations et les tolérances dimensionnelles fournies par le bureau d'étude.

VII.4.2 Préparation du chantier :

VII.4.2.1 Réceptions des travaux GENIE CIVIL

Avant le début du montage, il est indispensable d'effectuer la réception d'ouvrages de Génie civil suivant :

- Fondation du bac ;
- Plate-forme autour du bac.

VII.4.2.2 Protection et nettoyage :

L'entrepreneur se munira de bâches et de chiffons nécessaires pour protéger les surfaces à ne pas peindre.

Toute peinture déposée sur ces surfaces sera soigneusement enlevée.

VII.4.3 Documentation techniques :

En plus du présent document, il sera tenu compte des documents suivants :

- Plans d'exécution ;
- Règles API 650 ;
- Code ASME section IX ;

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 la signature du superviseur. un exemplaire de ce journal est retenu par le superviseur.

VII.4.4 Procédure de soudage :

Selon le code ASME, section IX, les formulaires WPS seront établis conformément aux règlements, ainsi que sur la base de l'expérience propre de l'entreprise de montage, en tenant

compte des différents types de soudure, de différents procédés de soudage et aussi de différents groupes de dimensions.

Ces documents formulaires seront remis à l'inspecteur du client pour vérification.

VII.4.5 Qualification des procédés de soudage :

Avant de procéder à l'opération de soudage des différentes pièces du réservoir, homologation de la procédure de soudage sera effectuée conformément au code ASME, section IX.

Il faut tenir compte notamment des variables ayant l'influence au changement du procédé de soudage et qui exigent des nouvelles qualifications.

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.

VII.4.5 Qualification des soudeurs :

Si un des soudeurs possède un certificat valable il est alors obligé d'effectuer l'épreuve technologique en accord avec le procédé de qualification de soudage dont la qualité sera, évaluée sur la base du cliché radiographique.

Les autres soudeurs sont tenus de passer leur examen de qualification conformément aux règlements ASME, section IX.

Les épreuves technologiques ou bien les étalons pour la qualification seront effectuées en présence des représentants autorisés. Chaque soudeur doit posséder son poinçon en acier avec le symbole en lettre ou numéro qui sera inscrit l'attestation du soudeur.

VII.4.6 Préparation des tôles :

Pour faciliter le montage, il est nécessaire de procéder aux opérations suivantes :
Effectuer le cintrage et le chan-freinages des tôles.

- Repartage des tôles suivant leur ordre de montage.
- Repartage et traçage des tôles pour la fixation des accessoires et montage.
- Préparation de tous les accessoires de montage tel que (carré, Chicago, oreille de levage,....).
- Préparation l'échafaudage.

VII.4.3 Montage du fond :

VII.4.3.1 Repérage :

Avant le début du montage d'un fond, il faut repérer les axes principaux des éléments suivants :

- Fondation, soit de 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 et d'expédition de l'usine du fournisseur.



Figure VII. 5: Repérages des tôles marginales.

VII.4.3.2 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 côté inférieure ; tout en prenant en considération de ne pas toucher les périphéries 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 contrôle la protection anticorrosive.

VII.4.3.3 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.

VII.4.3.4 Pointage du fond :

Le pointage des tôles du fond est à effectuer par le procédé de soudage à l'arc manuel avec les électrodes.

L'ordre de pointage des tôles du fond sera comme suivant :

- **Pour les bacs dont le fond est doté de tôles marginales :**

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 50mm et l'entraxe entre deux pointages est de : 300mm.

- **Pour les bacs dont le fond n'est pas doté des tôles marginales :**

Pointer les tôles transversales. 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 pointages est de : 300 mm

VII.4.3.5 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 toute l'impureté (graisses, humidité, corrosion, poussière, etc. ...) la largeur de la zone devant être nettoyée 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 les écarts éventuels relatifs aux paramètres donnés ne sont admis qu'après l'approbation du superviseur.

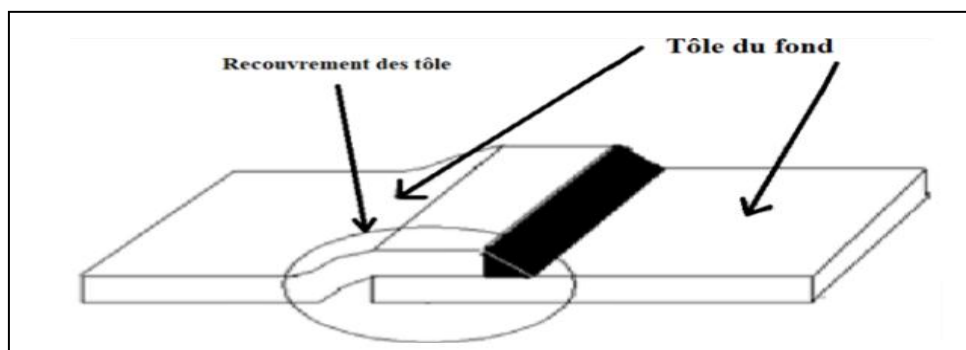


Figure VII. 6: Soudage des tôles du fond.

VII.4.4 Montage de la robe :

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 adéquate tels que plats, ronds, réglette etc....

VII.4.4.1 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 démentions des chanfreins doivent rester dans les tolérances prescrites.

VII.4.4.2 Pointage et sondage de la première virole :

A l'aide d'un ruban métallique gradué, on trace par la craie le cercle par lequel passera la robe, puis, on le pointe par un pointeau.

A l'aide d'une grue, la tôle est soulevée en utilisant les élingues qui sont crochées dans les oreilles de levage.

Une fois la deuxième tôle posée, on fixe d'abord les deux tôles verticalement par l'intermédiaire du dispositif de réglage (carré et Chicago).chaque joint vertical doit avoir trois Chicago (dispositif de réglage).

Tous les pointages sont à effectuer, par le procédé de soudage à l'arc manuel avec électrode basique enrobée. La longueur du pointage sera 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. 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 ».

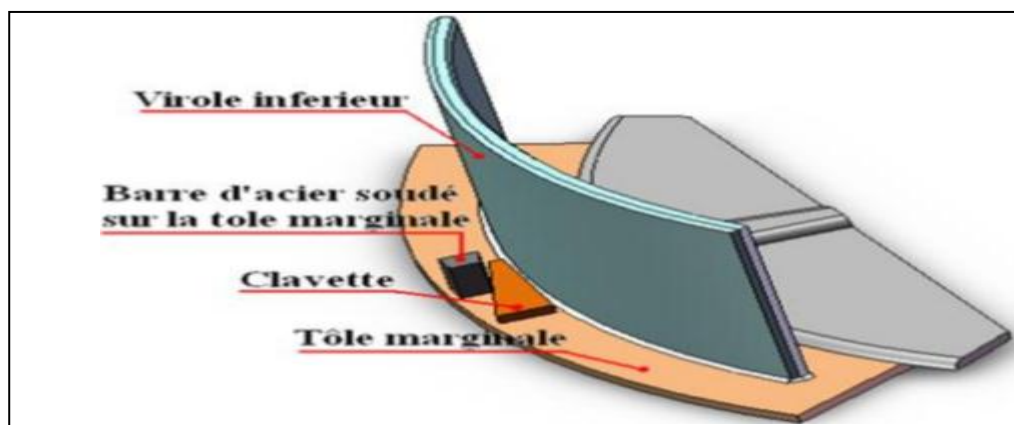


Figure VII. 7: Pointage et soudage de la première virole avec le fond.

VII.4.4.3 Pointage et soudage de la deuxième virole :

Le pointage des tôles de la 2ème 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 soudures verticales 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 par le procédé à l'arc manuel.

Le sens du soudage sera montant. Le soudage est à effectuées de la même manière que la première virole.



Figure VII. 8: Mise en plan de soudage des viroles.

VII.4.4.4 Pointage et soudage du joint horizontal 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.

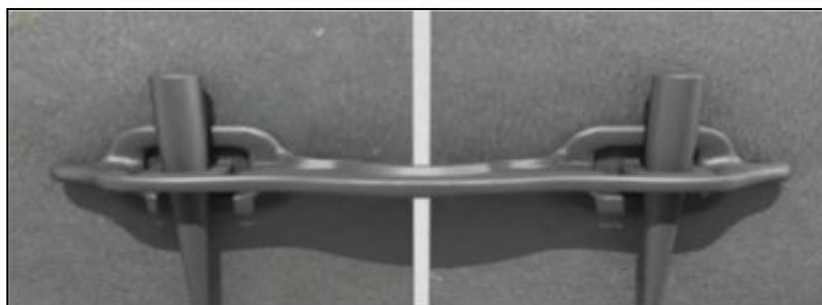


Figure VII. 9: fixation des tôles par Chicagos

VII.4.4.5 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 VII. 10: soudage de 1^{ère} virole sur le fond.

VII.4.4.6 Montage 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 les joints horizontaux entre la troisième et la deuxième virole, doivent être exécutés comme pour la première et la deuxième virole.

VII.4.4.7 Montage des autres viroles :

Le pointage est identique à viroles inférieures sauf qu'il doit se faire à l'intérieur. Les soudures verticales sont identiques aux viroles inférieures, 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 gougère à l'extérieur, suivant le procédé à l'arc manuel.

VII.4.4.8 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.

VII.4.4.9 Fixation des tôles lors de 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 d'instabilité due au vent.

VII.4.5 Montage de toit fixe :**VII.4.5.1 Montage et soudage des traverses :**

Conformément aux dimensions figurant sur les plans d'exécution, il y'a lieu de souder d'abord les appuis aux traverses de toit, sur la dernière virole, parallèlement à cela, il faut monter l'anneau central et ensuite exécuter le soudage des traverses sur celui-ci et à la bordure du bac.

VII.4.5.2 Montage et soudage des tôles de 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 bords sur une largeur de 30mm au minimum des deux côtés du joint. Le pointage et soudage des joint longitudinaux doit être effectué après les soudures transversales. Le soudage complet doit s'effectuer du centre vers la périphérie.

A la fin on a procédé à la soudure sur la cornière de rive, celui-ci doit se faire simultanément par quatre soudeurs.

VII.5 Conclusion :

On résume que la fabrication se base sur les calculs théoriques de bureau d'étude tout en tenant en compte du volet pratique, cependant le montage dépend de l'environnement du chantier qui comprend les qualifications des ouvriers et les conditions des ouvriers et les contrôleurs.

Chapitre VIII

Soudage et contrôle

VIII.1 Introduction :

Le soudage est un procédé d'assemblage permanent. Il a pour objet d'assurer la continuité de la matière à assembler. Dans le cas des métaux, cette continuité est réalisée à l'échelle de l'édifice atomique. Ce type d'assemblage a des avantages et des inconvénients.

- **Avantage :**

- continuité de la matière (assemblage monolithe) assure une bonne transmission des sollicitations.
- Etanchéité.
- Procédé simple et rapide, (dispense des pièces secondaires, goussets...etc.)
- Une bonne productivité.
- Moins encombrant et plus esthétique que le boulonnage ou le rivetage.

- **Inconvénients**

- Déformation de retrait des soudures
- Contraintes résiduelles de soudure qui compliquent l'état de contrainte de l'assemblage (rupture par Fatigue).
- Plus onéreux (main-d'œuvre qualifiée, matériel spécifique, contrôle des soudures)

VIII.2. Procédés de soudage.

On regroupe les procédés de soudage en quatre types principaux en fonction de l'énergie utilisée:

1. Energie électrothermique: arc électrique;
2. Energie thermo-chimique: Acétylène + oxygène;
3. Energie mécanique: Percussion - explosion;
4. Energie de radiation: Laser;

Le procédé le plus courant utilisé en charpente métallique étant le soudage à l'arc électrique avec apport de métal par électrode. Il peut être:

- Soit manuel MMA (électrode enrobée).
- Soit semi-automatique (Electrode nue + flux de poudre ou gaz protecteur procédé MAG)
- Soit automatique (Electrode nue + flux de poudre procédé SAW).

VIII.2.1. Soudure à l'arc électrique avec électrode enrobée SMAW :

Cette méthode manuelle constitue l'un des méthodes opératoires de soudage à l'arc les plus répandus. Elle nécessite une compétence considérable pour réaliser des soudures de bonne qualité. L'électrode est constituée d'un fil à cœur d'acier et d'un flux d'enrobage contenant des éléments alliés, comme par exemple le manganèse et la silice.

Un arc électrique est créé entre une électrode fusible (Cathode) et les pièces à souder (Anode), grâce à un générateur de courant, alternatif ou continu, de faible voltage, mais de fort ampérage. L'arc (Température au cœur de l'arc $\cong 5500^{\circ}\text{C}$, 2700°C à la cathode et 3500°C à l'anode) fond le métal de l'électrode et une partie des pièces à assembler, ainsi

que l'enrobage de l'électrode. Le métal fondu remplit les vides entre pièces et forme après refroidissement l'assemblage.

Lors de la fusion l'enrobage de l'électrode donne naissance à un laitier, étant plus léger que le métal il se dépose à la surface du bain de fusion et forme une protection de la soudure.

La protection a pour rôle de:

- protéger le métal contre l'oxygène et l'azote de l'air (fragile).
- retarder le refroidissement de l'acier pour éviter le phénomène de trempe.

Les corps principaux de l'enrobage sont: SiO_2 , CaO , Mn , Fe_3O_4 .

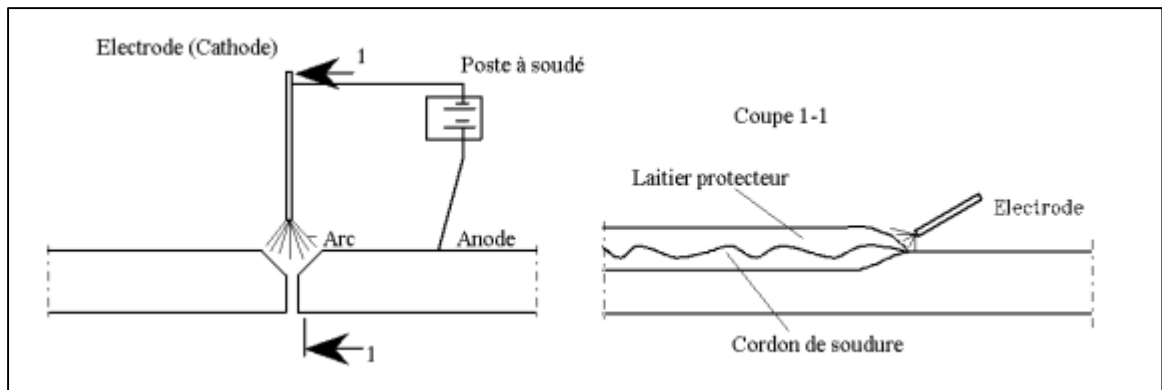


Figure VIII. 1: soudure à l'arc électrique.

VIII.2.2. Soudage SAW :

Le soudage SAW peut être effectué simultanément par une ou plusieurs têtes de soudage. Chaque tête dispose d'un fil-électrode simple ou double.

On utilise pour le soudage des joints horizontaux de la robe la méthode semi-automatique à l'arc sous flux en poudre SAW, ce procédé est aujourd'hui plus répandu que celui à l'électrode enrobé SMAW, offre une meilleure productivité car il permet un soudage semi-automatique ou robotisé.

Avantage du procédé SAW :

- Grande vitesse de soudure
- Préparation très importante
- Pas de préparation de chanfrein dans certains cas
- Très bel aspect du cordon lorsque les paramètres sont correctement réglés.
- Limitation des déformations.
- Aucune émission de fumées.
- Large gamme d'épaisseur et d'application.
- Bonnes qualités de joint et bonnes caractéristiques.

Tableau VIII. 1: Caractéristique de procédé de soudage.

Procédé	Application	protection	Equipement	utilisation	Mode
SMAW	Tuyauterie et maintenance, tôles	Aucun gaz utilisé, la combustion du fondant produit le gaz de protection	Poste à souder et baquettes (électrode)	Le plus utilisé sur le chantier	M CD/CA
SAW	Industrie minière charpente réservoirs	Le fondant en fusion crée une atmosphère protectrice	Alimentation du fondant, électrode générateur	Application horizontale à plat	A/S-a CD/CA

VIII.3. Choix de l'électrode de soudage :

L'électrode sera choisie en fonction de facteurs suivants :

- Nature de métal de base
- Nature de courant de soudage
- Vitesse d'exécution recherchée, en liaison avec la configuration des joints.

L'électrode enrobée AWS E7018 type OK 48.00 (basiques). Et E7024 s'emploie généralement dans la chaudronnerie et la tuyauterie et aussi augmenter la rapidité d'exécution.

Elles garantissent des amorçages et réamorçages de qualité, et assurent une bonne pénétration et des taux de rendement de 120%.

Tous les cordons de soudure sont effectués à l'arc électrique manuel pour ces réservoirs on utilise une électrode de $\varnothing=3.25$ mm, et $\varnothing=4$ mm.

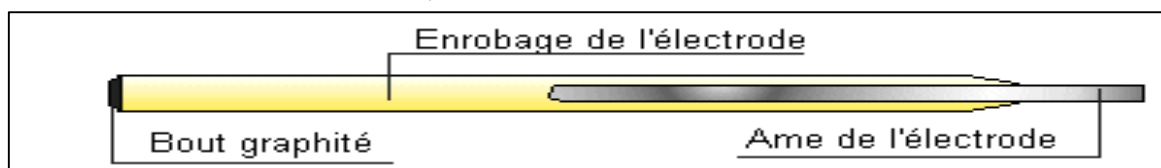


Figure VIII. 2: Electrode enrobé.

VIII.4. Etuvage des électrodes de soudage :

Pour une qualité de soudure optimale, les électrodes doivent être conservées à une température de 250°C sur le lieu de soudage avant utilisation. Cela évite que l'électrode prenne l'humidité, supprime les risques de porosité du cordon de soudure.

VIII.5. Qualification des soudeurs :

Les soudeurs doivent passer par un examen de qualification confirmant aux règlements ASME pour le soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées lors de la qualification des soudeurs, l'accent est porté sur l'aptitude de soudeur à guider manuellement l'électrode, l'angle ou la position de soudage pour produire une soudure de qualité acceptable.

Tableau VIII. 2: Caractéristique de l'électrode.

Désignation	Type D'enrobage	ϕ (mm)	Nature de Courant	Classification	Composition chimique ou mécanique
Ok48-00	Basique	3.25 4	Continu+	AW E7018	C : 0,1 Mn : 0,5 Si : 0,9
					E: 410-450 Nmm2 R530- 90 Nmm2 A : 5d 30%

VIII.6. Les joints de soudure :

Dans l'assemblage des tôles on utilise déferons procédés de soudage pour lier les tôles avec des joints qu'ils sont classé de la manière suivante :

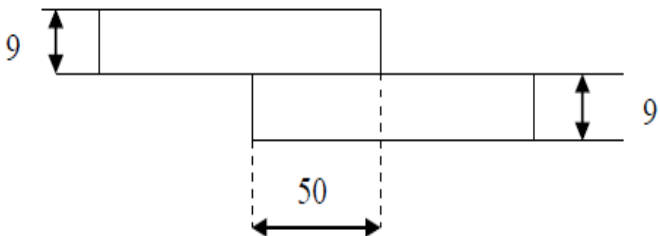
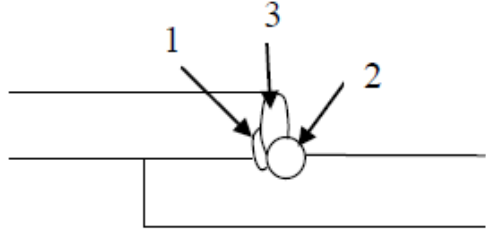
Tableau VIII. 3 : les joints de soudure.

Joints bout à double soudure	C'est un joint entre deux tôles bout, placées approximativement dans le mêmes plan et soudées des deux cotés
Joints à recouvrement à double soudure	C'est l'assemblage de deux pièces recouvrant, dans lequel les bords de recouvrement des deux pièces sont soudés avec soudure d'angle.
Joint à recouvrement à simple soudure	C'est l'assemblage de deux pièces recouvrant dans lequel le bord de recouvrement d'une Pièce est soudé avec une soudure d'angle
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.
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
Soudure de pointage	C'est une soudure destinée à maintenir un ensemble à souder en alignement convenable jusqu'à ce que les soudures définitives soient effectuées

VIII.7. Spécification de soudage :

VIII.7.1. tôles de fond :

Tableau VIII. 4 : Joints de soudure des tôles centrales

Type d'assemblage					Par recouvrement			
Mode de chanfreinage					/			
Code utilisé					ASME			
Procédé de soudage					SMAW			
Métal de base	N° De Passe	Intensité (A)	Tension (v)	Vitesse de soudage (cm/min)	Métal d'apport		Position de soudage	
A283GrC	1	160	32	3	Electrode	Ø (mm)	Long (mm)	IF IF IF
	2	160	32	4.4				
	3	160	32	4.6				
Schéma de préparation					Schéma des passes			
								

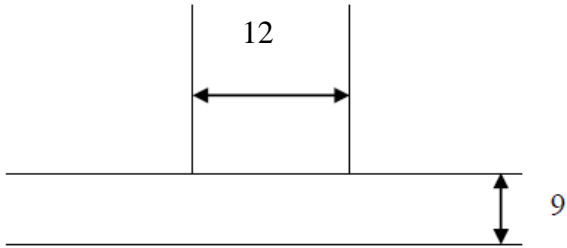
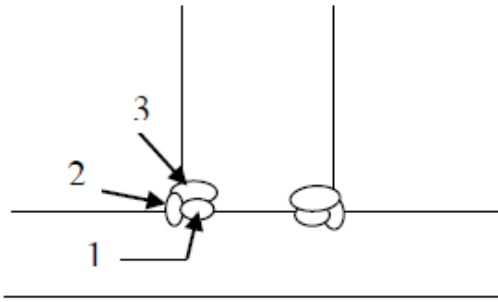
VIII.7.2 tôles marginales :

Tableau VIII. 5: Joints de soudure des tôles marginales

Type d'assemblage					Bout à bout			
Mode de chanfreinage					/			
Code utilisé					ASME			
Procédé de soudage					SMAW			
Métal de base	N° De Passe	Intensité (A)	Tension (v)	Vitesse de soudage (cm/min)	Métal d'apport			Position de soudage
A283GrC	1	160	32	3	Electrode	Ø (mm)	Long (mm)	1G 1G 1G
	2	160	32	4.4				
	3	160	32	4.6				
	E7024	3.25	450					
					E7024	3.25	450	
					E7024	3.25	450	
Schéma de préparation					Schéma des passes			

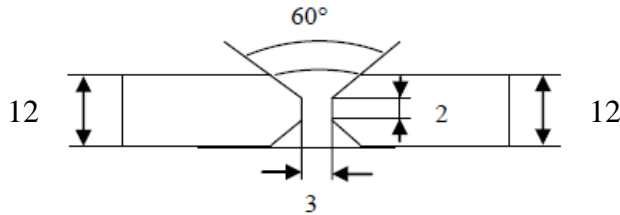
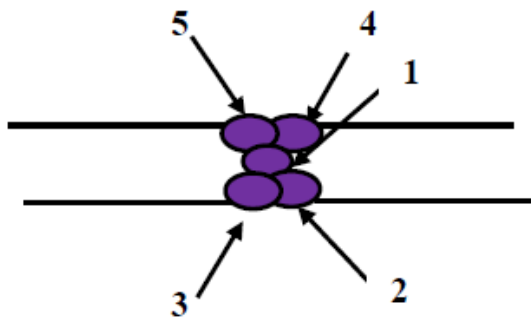
VIII.7.3. pied de la robe :

Tableau VIII. 6: Joints de soudage pied de la robe.

Type d'assemblage					Soudage d'angle			
Mode de chanfreinage					/			
Code utilisé					ASME			
Procédé de soudage					SMAW			
Métal de base	N° De Passe	Intensité (A)	Tension (v)	Vitesse de soudage (cm/min)	Métal d'apport			Position de soudage
A283GrC	1	160	32	3	Electrode	Ø (mm)	Long (mm)	1G 1G 1G
	2	160	32	4.4				
	3	160	32	4.6				
					E7024	3.25	450	
					E7024	3.25	450	
Schéma de préparation					Schéma des passes			
								

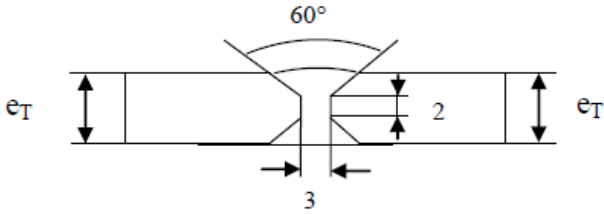
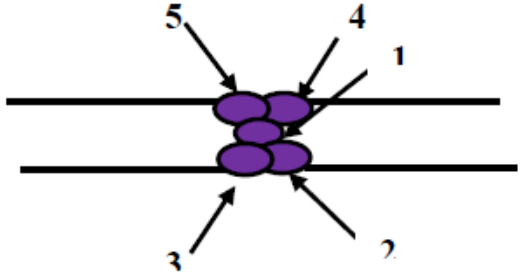
VIII.7.4. Joints de soudure verticaux de la robe :

Tableau VIII. 7: Joints de soudure verticaux de 1 ère virole

Type d'assemblage					Bout à bout			
Mode de chanfreinage					/			
Code utilisé					ASME			
Procédé de soudage					SMAW			
Métal de base	N° De Passe	Intensité (A)	Tension (v)	Vitesse de soudage (cm/min)	Métal d'apport			Position de soudage
A283GrC	1	90	23	3.75	Electrode	Ø (mm)	Long (mm)	3G
	2	115	26	4.44				
	3	115	26	4.44				
	4	120	32	6				
	5	120	32	6				
	6	120	32	6				
				E7024	2.5	450	3G	
				E7024	2.5	450	3G	
				E7024	2.5	450	3G	
				E7024	2.5	450	3G	
				E7024	2.5	450	3G	
				E7024	2.5	450	3G	
Schéma de préparation					Schéma des passes			
								

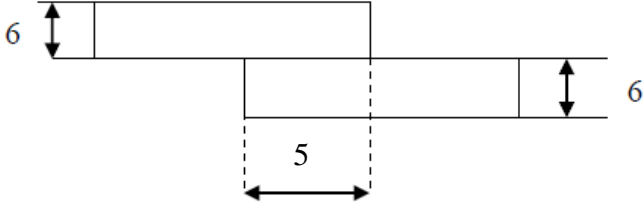
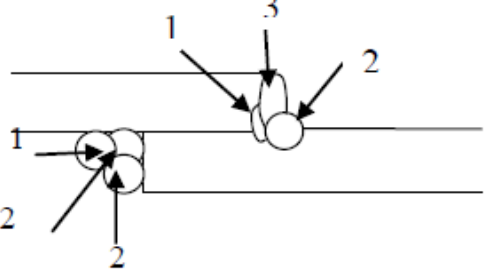
VIII.7.5. Du 2^{ème} Virole jusqu'a la 6^{ème} virole :

Tableau VIII. 8: Joints de soudure verticaux des viroles 2 à 6

Type d'assemblage					Par recouvrement			
Mode de chanfreinage					/			
Code utilisé					ASME			
Procédé de soudage					SMAW			
Métal de base	N° De Passe	Intensité (A)	Tension (v)	Vitesse de soudage (cm/min)	Métal d'apport			Position de soudage
A283GrC	1	90	23	3.75	Electrode	Ø (mm)	Long (mm)	3G
	2	115	26	4.44				
	3	115	26	4.44				
	4	120	32	6				
	5	120	32	6				
					E7024	2.5	450	3G
					E7024	2.5	450	3G
					E7024	2.5	450	3G
					E7024	2.5	450	3G
					E7024	2.5	450	3G
					E7024	2.5	450	3G
Schéma de préparation					Schéma des passes			
								

VIII.7.6. Joints de soudure de toit :

Tableau VIII. 9 : Joints de soudure de toit

Type d'assemblage					Par recouvrement			
Mode de chanfreinage					/			
Code utilisé					ASME			
Procédé de soudage					SMAW			
Métal de base	N° De Passe	Intensité (A)	Tension (v)	Vitesse de soudage (cm/min)	Métal d'apport			Position de soudage
A283GrC	1	90	23	3.75	Electrode	Ø (mm)	Long (mm)	1F 1F 1F
	2	115	26	4.44				
	3	115	26	4.44				
					E7024	2.5	450	
					E7024	2.5	450	
					E7024	2.5	450	
Schéma de préparation					Schéma des passes			
								

VIII.8. Contrôle des soudures :

Le contrôle nous permet l'évaluation de l'état d'intégrité d'un matériau, de structures, ou d'ensemble mécaniques, sans les dégrader. Il intervient en laboratoires, en ateliers, sur chantiers et sur sites de production, en phase de conception, de fabrication et de surveillance de l'installation. Les principaux domaines d'activité concernés sont le nucléaire et l'aéronautique, mais aussi les industries chimiques, pétrochimiques, et l'automobile. Le but des contrôles est de vérifier la soudabilité des aciers et en tout ou partiellement la qualité des joints réalisés dans la construction. Pour vérifier la qualité des joints, on prévoit certains contrôles et essais effectués sur la totalité des soudures. Parmi ces méthodes : le ressuage, les ultrasons, la radiographie, les courants de Foucault, la magnétoscopie et thermographie...etc.

Ils peuvent être appliqués pratiquement à tous les stades de vie d'un élément ;
-production-utilisation- maintenance.

VIII.8.1. choix de la méthode de contrôle :

Le choix d'une procédure ou plusieurs procédures de contrôle est basé sur quelques paramètres tel que :

- Cout.
- Possibilités de mise en œuvre.
- Caractéristiques techniques de la méthode en fonction des défauts recherchés.

VIII.8.1.1. contrôle du réservoir :

- Contrôle de fond :

L'épreuve d'étanchéité du fond du réservoir sera exécutée au moyen d'une boîte à vide métallique (ventouse). Cette boîte est équipée d'une fenêtre vitrée sur sa surface supérieure, et la partie inférieure est appliquée contre la surface du fond du réservoir par l'intermédiaire d'un joint en caoutchouc spongieux servant de ventouse.

- Contrôle des joints de la robe et les tôles marginales :

On utilise le contrôle par radiographie uniquement pour contrôler des joints horizontaux et verticaux de la robe et tôles marginales pour lesquels une pénétration et fusion totale sont spécifiées. Cette méthode consiste à détecter les défauts en surface et interne de soudure comme l'hétérogénéité, l'inclusion... etc., en les soumettant à une radiation en rayon X, réglable en intensité et en temps de pose, en fonction de l'épaisseur des tôles. L'application du contrôle par radiographie se limite uniquement pour les joints de la robe, les tubulures avec joints bout à bout et les joints des tôles marginales.

Domaine d'application : on utilise le contrôle par radiographie à l'industrie pour détecter et localiser les défauts, quantification, traitement (analyse spectral), et pour mesurer les épaisseurs.

Principe de fonctionnement : on place sur la soudure en film, la pièce à contrôle est soumise à un rayonnement (rayon X ou Y) ces rayons traversent la soudure et imprègnent le film, les défauts sont alors repérés sur le film par des taches sombres.

Pour notre sécurité :

Les radiographies sont faites

Soit dans des blocs de contrôle radio, ou les murs sont épais et blindés des plaques de plomb.

- Soit dans des coffres à parois épaisses en plomb, si la radiographie doit être faire sur chantier. les personnes aux alentours doivent se retirer pendant la réalisation de la radio. Les opérateurs sont soumis régulièrement à un examen biologique du sang.

- Contrôle des joints entre la première virole et le fond :

On utilise le contrôle par ressuage pour les joints entre la virole inférieure et le fond

C'est une méthode destinée à révéler la présence de discontinuités ouvertes en surface de pièces métalliques, essentiellement, mais aussi en céramique. Elle consiste à badigeonner la cible avec un liquide fluorescent ou coloré en rouge, qui pénètre dans les discontinuités.

Après nettoyage de la cible, un révélateur est appliqué et on faisant «ressuer» le liquide resté dans les fissures, va les révéler.

Domaine d'application :

Le ressuage est utilisé pour le contrôle

- Les pièces moulées.
- Des pièces forgées
- Les fissures de fatigue et de corrosion

Principe :

- a) le ressuage consiste à appliquer sur une surface à contrôler préalablement nettoyée.
- b) Une application du pénétrant coloré ou fluorescent qui va pénétrer par capillarité dans les défauts débouchant.
- c) Un nettoyage de l'excès de pénétrant après un temps d'imprégnation de 15 à 20 mn à température ambiante.
- d) Une application de révélateur blanc sur la surface à contrôler.
- e) Le pénétrant contenu dans les défauts éventuels resseue alors dans le révélateur. Les images des défauts apparaissent immédiatement ou jusqu'à 30 mn après l'application des révélateurs.
- f) Un nettoyage à la fin.

Tous les renforts des piquages doivent être essayés à l'air sous pression de 2.5 bars.

Les essais hydrauliques sont :

Les essais hydrauliques appliqués pour le réservoir soit :

✓ Essai d'étanchéité de la robe :

- La température ambiante doit être supérieure à 0°C.
- Il sera fait à l'eau par remplissage complet du réservoir .le remplissage se fera graduellement.
- Les réservoirs remplis resteront on observation pendant au moins 24 heures. Les prises de mesures de nivellement se font chaque 12 heure.
- Vider le réservoir graduellement.

✓ Essai de surpression du bac :

Après le remplissage du réservoir, la fermeture des ouvertures du toit sera exigée.

- Insuffler l'air par un orifice du toit au moyen d'un compresseur jusqu'à l'obtention de la pression requise.
- Toutes les soudures du toit seront badigeonnées avec l'eau savonneuse pour vérifier leur étanchéité.

La durée de l'essai est de 1h 30 mm au minimum pendant ce temps les lectures sur les manomètres seront prises toutes les 10 minutes.

- Vérifier si aucune déformation du toit ne s'est produite.

✓ Essai de dépression du bac :

Après l'épreuve de pression du réservoir ouvrir tous les orifices du toit :

- Vider le réservoir jusqu'à ce que le niveau d'eau soit à 1 mètre du fond.
- Fermer tous les orifices du toit et continuer la vidange du réservoir jusqu'à ce que la dépression requise soit obtenus. la durée de l'essai est de 2 heures et toutes les 10 minutes les lecteurs sur manomètre seront prises et vérifier si une déformation quelconque ne s'est produite.

✓ Essai sue les renforts des tubulures :

- Avant remplissage du réservoir avec de l'eau ; il sera procédé aux essais des renforts de tubulures telles que tubulures du trou d'hommes.
- Une pression pneumatique sera appliquée entre la virole du réservoir et la plaque du renfort par le trou témoin.
- Toute fuite sera ainsi décelée par l'application d'une solution savonneuse sur l'ensemble des soudures exécutées autour de la plaque de renfort et à l'intérieur du réservoir.

✓ Essai de tassement de la fondation (stabilité de fondation) :

L'opération consiste à la vérification de la tenue de fondation par la vérification de la stabilité de la fondation par repère ou nivellement à la lunette avec les mesures faites :

- Avant remplissage.
- Après remplissage.
- Après vidange.

VIII.9. Conclusion :

La bonne réalisation de soudage permet à donner un bon assemblage et une bonne stabilité de réservoir, et le choix de matériaux et le contrôle de travail effectué selon la norme ASME.

Chapitre IX

Essais de 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. Ils sont faits pour déterminer par exemple : l'état de surface, la rotondité u réservoir et détecter les défauts de soudage.

Et comme mesure de protection, plusieurs dispositifs sont à préconiser à savoir ; la peinture, système de refroidissement, système d'extinction de feu.....etc.

✓ Norme et codes :

Les tests sont effectués selon les codes suivants : API650 et ASME section IX, VIII

IX.2 essais de réservoirs :

IX.2.1 Génialité sur les essais :

Cette présente procédure couvre les principales étapes des essais d'inspection sur site, relatives aux réservoirs. 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.

Les essais sont entièrement à la charge du constructeur y compris le personnel et matériel nécessaire à la bonne exécution de ces travaux.

IX.2.2 Essais sous vide :

Cet essai est réalisée, conformément à l'ode API 650, en vue de contrôler l'étanchéité des soudures du fond et toit du bac.

les joints du fond et toit du réservoir seront contrôlés et testés sous vide. la pression d'aire ou le vide seront appliqués sur le joint de soudure, tout en appliquant le liquide pénétration permettant de détecter les défaut (porosité, bulles etc. ,.....) L'entrepreneur doit certifier la qualification le personnel du contrôle, ainsi que les performances des produits liquides utilisés.

IX.2.3 Essais pneumatique :

Avant remplissage du réservoir avec l'eau ; il sera procédé aux essais des renforts des tubulures (telles que trou d'hommes) Une pression pneumatique sera appliquée entre la virole du réservoir et plaque du renfort à l'intérieur et à 'extérieur du réservoir.

Pendant la mise en pression de chaque espace, de l'eau de savon, de huile lin ou autre matière appropriée pour la détection des fuites être appliqué à toutes soudures de fixation autour du renfort, tant l'intérieur qu'à l'extérieur du réservoir.

IX.2.4 Essais d'étanchéité a la chaux plus 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 Essais 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 2000 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).

IX.2.6 Documents d'exécution et d'inspection :

Ces documents, y compris les plans seront fournis par **Metaleng**, après l'approbation du client.

Le constructeur devra se doter d'un journal ou chaque réserve, commentaire ainsi que résultat doivent être mentionnés en commun accord avec l'inspecteur du client, ainsi que les certificats d'inspection.

IX.2.7 Préparation :

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.3 Protection :

IX.3.1 Protection par peinture (contre corrosion) :

Le terme corrosion ” désigne la destruction d’un métal sous l’action du milieu environnant (air, eau de mer, solution aqueuses, sols...), par un processus de type physico-chimique.

La forme de corrosion la plus courante est celle qui affecte la structure métallique par une attaque généralisée et uniforme se traduisant par la présence de produit de corrosion à la surface du métal et par une perte de matière uniformément répartie. Mais dans le nombreux cas, la corrosion se manifeste par une attaque localisée pouvant entraîner de dommages très importants, sans que le métal présente dans son ensemble une perte de poids significative.

L’étude des mécanismes de la corrosion, et par conséquent la connaissance des moyens à mettre en œuvre pour y remédier, repose sur exploitation des lois de la thermodynamique et de la cinétique électrochimique.

✓ 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.

IX.3.2 Les moyens de lutte contre la corrosion :

La lutte contre la corrosion consiste à contrarier les circonstances favorables au développement d’une réaction de corrosion :

- Isolation du métal,
- Modification artificielle du potentiel électrochimique du métal,
- Blocage des réactions de corrosion, en utilisant des inhibiteurs,
- Ralentissement de la corrosion par réaction entre des gens passives et de métal qui conduisent à la formation de composés chimiques stables à la surface du métal à protéger.

IX.3.3 Préparations de surfaces :

Toutes les surfaces seront inspectées après leur préparation, elles devront être conformes aux spécifications de peinture respectives.

La propreté de la surface sera vérifiée par comparaison visuelle avec le standard photographique : SSP-Vis 1 ou équivalent de plus ; toutes les surfaces préparées seront

inspectées visuellement pour s'assurer qu'elles sont complètement exemptes de : poussière, graisse, eau huileuse ou autres contaminant.

IX.3.4 Procédure de la peinture :

IX.3.4.1 Règles générales pour la mise en œuvre :

- L'entrepreneur prévoira un local clos à l'abri des poussières pour le stockage des peintures et du matériel pour la préparation des mélanges, dilution et
- Aucun diluant ou huile ne sera ajouté aux peintures sauf instructions du fabricant et l'addition se fera dans ce cas conformément aux spécifications du fabricant.
- La couche de peinture primaire sera appliquée à la brosse.
- La peinture ne sera pas appliquée si les conditions sont telles qu'il existe des risques de pluie, de brouillard ou de condensation avant que la peinture n'ait séché.
- La peinture ne sera également pas appliquée dans une atmosphère chargée de poussières.
- La couche primaire devra être appliquée aussitôt que possible et dans tous les cas dans la même journée que le sablage.
- Le client se réserve le droit de prélever des échantillons à tout moment, avant et pendant les travaux de peinture, ceux-ci doivent être conformes aux fiches techniques de fabricant.
- La réception sur site tiendra compte des paramètres suivant :
- La vérification d'épaisseur

IX.3.4.2 Application de la peinture :

Tout mélange sera effectué jusqu'à ce que la peinture devienne lisse et homogène en l'absence de tourbillon superficiel ou de pigment en suspension.

Le diluant sera généralement nécessaire et sera bien mélangé avec la peinture utilisée, le type et la quantité du diluant seront conformes à la recommandation du fabricant de peinture.

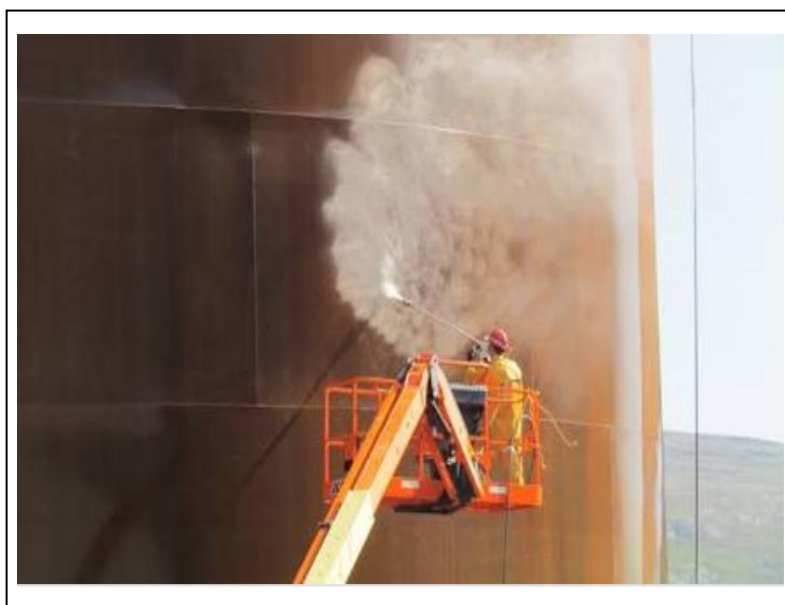


Figure IX. 1: Application de la peinture sur la robe.

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 Système à mousse (contre l'incendie) :

Le contour du sommet de réservoir est équipé par des (**extincteurs**) qui lance la mousse spéciale contre les incendies (feux, fuites de gaz,... etc.)

IX.5 Système de refroidissement :

Ce system est composé d'un tuyau percé et placé sur la surface de la robe, sa fonction principale est de diminué la température de réservoir si cette dernière est importante.

IX.6 Mise à la terre :

C'est une mesure de sécurité contre L'excès de courant naturel (foudre...).

La plaque 1 est en laiton, elle brasée Sur La plaque d'acier 2.

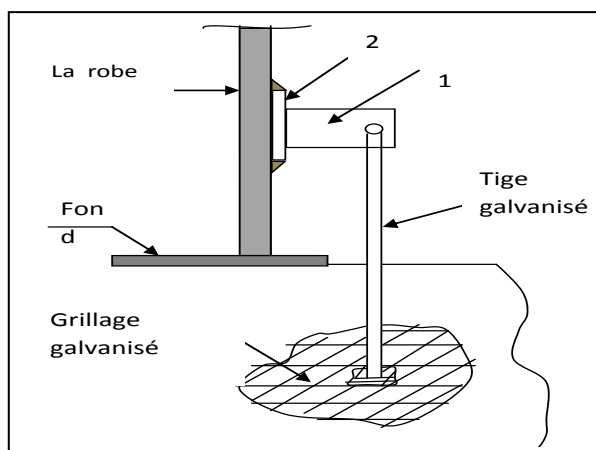


Figure IX. 2: Mise à la terre.

IX.7 Conclusion :

L'essai hydrostatique est le plus défavorable pour le réservoir en générale, contrairement aux autres essais qui sont spéciales aux éléments appropriés.

Pour une bonne application de la peinture, il faut avoir une bonne adhérence qui est pour décaper les leurs de rouille

Chapitre X

Dimensionnement de tuyauterie

X.1 Introduction :

Les fluides sont des corps sans forme propre, ils peuvent subir des grandes variations de forme sous l'action des 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.

Notre étude a comme but de définir les caractéristiques d'une station de chaudière (tuyauterie en forme serpentins et pompe), on utilise l'huile comme fluide pour chauffer le produit stocké « bitume » à température élevée de 180°C.

Et pour assurer l'écoulement durant le transfert d'un fluide entre deux points d'une installation.

Ils devront répondre à trois fonctions principales :

- Résistance mécanique
- Résistance chimique.
- Assurer le passage du débit demandé.

X.2 La pompe :

La pompe est un appareil responsable de la transformation de l'énergie mécanique en énergie hydraulique.

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide.

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).

X.3 Les caractéristiques importantes de la pompe :

• Le débit

Le débit q_v 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 heures (m^3/h)

• La 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 $H = f(q_v)$ de la pompe considérée (donnée constructeur).

• Le rendement

Le rendement η d'une pompe est le rapport de la puissance utile p (puissances hydrauliques) communiquée au liquide par la pompe à la puissance absorbée P_a par la pompe à la pompe (en bout d'abord) ou par le groupe (aux bornes du moteur). Si q_v est le débit volume du fluide, ρ sa masse volumique et H la hauteur manométrique de la pompe, la puissance p et le rendement η sont donnés par :

$$P = q_v \cdot \rho g H$$

$$\eta = \frac{q_v \cdot \rho g H}{P_a}$$

Le rendement η de la pompe varie avec le débit et passe par un maximum pour le débit nominal autour duquel la pompe doit être utilisée.

X.4 Les 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).

X.5 Choix de la pompe :

Les données nécessaires au choix de la pompe, le débit, Q, et la hauteur manométrique H, au point de fonctionnement souhaité. Les autres caractéristiques de la pompe sélectionnée, telles que le rendement N, la puissance absorbée P, le NPSH requis et le diamètre rognage Dr.

X.6 Calcul thermique :

Dans cette partie représente le calcul thermique relatif au dimensionnement d'un système de chauffe qu'équipera le réservoir bitume dans le cadre du projet : étude, fourniture, montage, essais et mise en service d'un (01) bac de stockage bitume 2000 m³ au centre bitume Bejaia.

Le réservoir sera calorifugé pour l'isolation thermique.

X.6.1 Données de calcul :

Tableau X. 1: Caractéristique du réservoir.

Caractéristiques du réservoir	valeurs
Produit stocké	Bitume 40 /50
température de l'air ambiant	15C°
température minimale de stockage	80°C
température moyenne de stockage	120°C
Température maximale de stockage	160°C
Température de fluide chauffant	220°C
coefficient d'échange de chaleur (réservoir-air ambiant)	6 mth/m ²
Coefficient d'échange de chaleur (huile-bitume)	140mth/m ² h°c
Chaleur spécifique du bitume	0,45mth/kg°c
temps de chauffe	24heurs
Masse totale du bitume à 120°C	1920000 kg
Surface d'échange totale du réservoir	848 m ²

Tableau X. 2: pertes thermique.

Q_p (mth /h)	Q_c (mth /h)	S_1 (m ²)	L_s (m)
534508,61	1974508 ,61	235	1240

X.6.2 Calcul des pertes thermique Q_p :

Les pertes thermiques dues à l'échange (air-paroi réservoir)
Suivant :

$$Q_p = K_1 \cdot S \cdot [T_1 - T_a]$$

Avec :

- K_1 : coefficient d'échange de chaleur (réservoir-air ambiant) (mth/m²) ;
- S : surface d'échange totale de réservoir (m²) ;
- T_1 : température moyenne de stockage (°C) ;
- T_a : température de l'air ambiant (°C) ;

$$Q_p = 6 \times 848(120 - 15) = 534508,61 \text{ mth /h}$$

$$\Rightarrow Q_p = 534508,61 \text{ mth /h}$$

X.6.3 Calcul de la puissance de chauffe Q_c :

Suivant :

$$Q_c = \left(\frac{C \cdot M [T_2 - T_1]}{H} \right) + Q_p$$

Avec :

- C : coefficient d'échange de chaleur (réservoir-air ambiant) ;
- H : temps de chauffe ;

$$Q_c = \frac{(0,45 \times 1920000)(160 - 20)}{24 + 53450,61} = 1974508,61 \text{ mth /h}$$

$$Q_c = 1974508,61 \text{ mth/h}$$

Détermination la longueur de tuyauterie minimale L_s :

Suivant:

$$S_1 = \frac{Q_c}{K_1} (T_h - T_2)$$

Avec:

- K_2 : coefficient d'échange de chaleur (huile-bitume) (mth/kg) ;
- Q_c : puissance de chauffe (mth/h) ;
- T_h : température du fluide chauffant (°C) ;

La surface de chauffe nécessaire S_1 :

A partir:

$$Q_c = k_2 \cdot S_1 \cdot (T_h - T_2)$$

On déduit:

$$S_1 = \frac{Q_c}{k_2} (T_h - T_2)$$

$$S_1 = \frac{1974508,61}{140(220 - 160)} = 235 \text{ m}^2$$

$$S_1 = 235 \text{ m}^2$$

La longueur totale minimale du tube « diamètre 2" » constituant la tuyauterie de chauffe sera de :
Suivant :

$$L_s = \frac{S_1}{\pi \times D}$$

Avec:

- **D**: diamètre de la tuyauterie de chauffe (m) ;
- **S₁** : la surface de chauffe nécessaire (m²) ;

$$L_s = 253 / (3,14 \times 0,0603) = 1240 \text{ m}$$

$$L_s = 1240 \text{ m}$$

X.6 Choix de la tuyauterie :

X.6.1 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 EN10208-2 L415NB
- Selon la norme française NF A49-401 TS E 415

Tableau X. 3: Représente les compositions chimiques de garde B.

PSLI		Carbone(%)	Manganèse(%)	Phosphore(%)	Soufre(%)
Garde B	Sas soudure	0,28	1,20	0,03	0,03

Tableau X. 4: Représente les caractéristique mécanique pour garde B selon API 5L.

PSLI	Limite élastique		Résistance a la traction	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa
Garde B	35,0	241	60	414

X.6.2 La vérification de la soudabilité de pipe API 5L Gr B :

$$CE = \%C + \%Mn / 6$$

Avec :

- **CE** : Pourcentage de carbone équivalent ;
- **CE < 0,45** bonne soudabilité ;
- **0,4 < CE < 0,6** l'acier nécessite un préchauffage ;
- **CE > 0,6** problème très particulier.

$$CE = \%C + \%Mn / 6 = 0,27 + 1,15 / 6 = 0,48$$

On trouve que $0,45 < CE < 0,65$ donc : le pipe nécessite un préchauffage

Température de préchauffage éventuelle

➤ Température de préchauffage

Si notre soudage nécessite un préchauffage, la température de préchauffage partir de l formule suivante :

$$T_p = 350 \sqrt{CE} \cdot \sqrt{C - 0,025}$$

CE : carbone équivalent

C : carbone composé

$$CE \times C = CE \times (1 + 0,005 \times e)$$

$$C = 1,01$$

T_p=169,59 C°

X.7 Calcul et dimensionnel de la tuyauterie:

- **Donne de calcul**

Nuance de pipe API 5L Gr B

V : vitesse de fluide (huile) a l'aspiration de 0.4 a 0.8 m/s, et de 0.6 a 2 m/s au refoulement

Tableau X. 5: vitesse de fluide (huile).

Huile	Vitesse produit a l'aspiration (m /s)	Vitesse produit au refoulement (m/s)
	0,4↔0,8	0.6↔2

D=60mm: Diamètre nominale de l'aspiration et **D=60mm** Diamètre nominale de refoulement

La vitesse d'entrée c'est la vitesse de refoulement **0,6 à de 2m/s**

On prend : **V=1,3m /s**

e : épaisseur de la tuyauterie:**2,77mm**

$$D_{\text{ext}}=D+2e$$

$$D_{\text{ext}}=60+2(2,77)=65,54\text{mm}$$

Calcul le débit Q:

$$Q=S \times V$$

$$S=\frac{\pi D^2}{4}=0,0028\text{m}^2$$

$$Q= S \times V=0,0036 \text{ m}^3/\text{s} =13,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

X.8 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 charge totale d'une installation est donnée 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.

X.8.1 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 lisses 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 linéaire déterminé selon le diagramme MOODY après le calcul du nombre de Reynolds " Re ".
- L : Longueur tuyauterie.
- V : Vitesse du produit.
- D : Diamètre de la tuyauterie.
- g : accélération de la pesanteur.

X.8.2 Calcule perte de charge linéaire :

Leur caractéristique sont suivant (ISO FUEL N 1.2.3)

Longueur $L = 123,34\text{m}$

Diamètre $D = 0,06\text{ m}$

Gravité $g = 9,81\text{ m/s}^2$

Vitesse $v = 1,3\text{ m/s}$

➤ **Calcul le nombre Reynolds Re :**

Le nombre de Reynolds détermine la nature du régime d'écoulement, il est donné par :

$$Re = V \times D / \nu$$

Avec :

ν : Viscosité cinématique du liquide $8,5 \times 10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$.

$$Re = 0,91 \times 10^5$$

➤ **Calcul le coefficient de perte de charge λ :**

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25}$$

Avec :

Re : Le nombre de Reynolds

$$\lambda = 0,018$$

➤ **Détermination (calcul des pertes de charges linéaires au refoulement)**

Tableau X. 6: Coefficients et résultat des pertes de charges de refoulement linéaires

Diamètre int.(D)(mm)	Re	λ	L(m)
$\phi 2''=60$	$0,91 \times 10^5$	0,018	123,34

$$\Delta H L = \lambda L V^2 / 2 \cdot D \cdot g = 3,18\text{ mcf}$$

$$\Delta H L = 0,318\text{bar}$$

X.9 Conclusion:

Ce chapitre avait comme but de déterminer les caractéristiques de la pompe et le dimensionnement de la tuyauterie (refoulement).

Parti II : Simulations

X.1 Introduction :

Le présent chapitre se rapporte au calcul de stress tuyauterie d'une seule Nape de serpentine. Le but est d'avoir une configuration optimale sur le choix et l'emplacement des supports en prenant en compte le critère de stress tuyauterie toléré. Les paramètres de stress à rechercher sont Les translations et Le ratio de contrainte. L'étude a été effectuée à l'aide du logiciel «Auto PIPE». Avec son interface graphique 3D qui est basé sur les règles de L'ASME (B31.3.2012).

X.2 Présentation de logiciel :

La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel «Auto PIPE». Avec son interface graphique 3D, «Auto PIPE» permet de réaliser des installations industrielles (réseaux de piping) avec l'implantation des équipements nécessaires dont leurs caractéristiques techniques sont incluses dans sa bibliothèque.

Auto PIPE prend en charge les conditions de fonctionnement initiales et conditions aux limites en exécutant le model par une méthode itérative en se basant sur les éléments fini.

- Le partage de la simulation du réseau tuyauterie se fera par zone, par diamètre et par la nature de produit transporté.
- la vitesse du vent supposée dans l'étude est de 130 km/h.

Dans ce document nous montrons l'étude de stress de la nape de serpentine.

L'Auto PIPE combine tous les paramètres de gravité, compression, dilatation afin de déterminé les contraintes, les ratios et les déplacements de la tuyauterie

La simulation se fait séparément pour chaque tuyauterie dans cette tuyauterie, nous montrons ci-dessous les images des tuyauteries et leurs tables d'analyse des contraintes et de déplacement dues par les différents paramètres.

X.3 Données de calcul :

Produit transporté dans la tuyauterie : huile ;

Densité d'huile : 0.9 ;

Températures : 220°C ;

Vitesse du vent : 130 km/h ;

Pression : 4bar ;

Accélération de la pesanteur g : 9,81 m/s² ;

Nuance d'acier de la tuyauterie : API 5L Gr B ;

Classe de la tuyauterie, nape de serpentins :

Epaisseur de la tuyauterie : Sch std (D = 60 mm, e = 2,77 mm pour 2" SCH40) ;

Séisme : **1a zone IIa.**

X.4 Simulation stress d'Auto pipe de la nape tuyauterie :

La ligne entre l'entrée de la nape de serpentine et la sortie. La tuyauterie est de 2" de diamètre, elle est utilisée pour réchauffée le produit stocké dans réservoir.

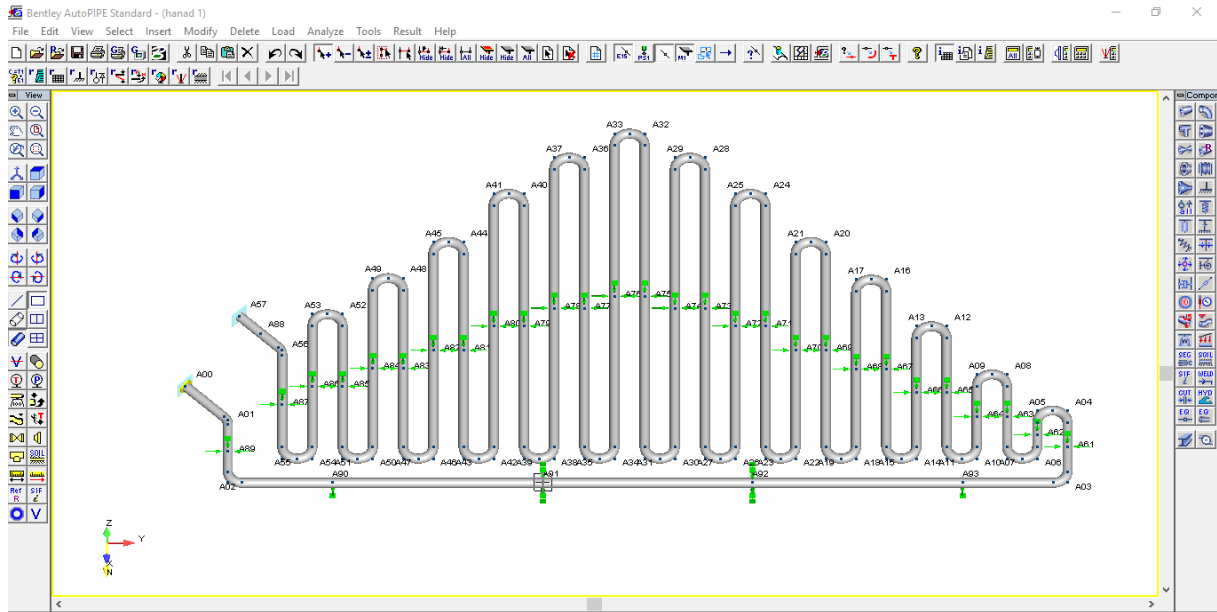


Figure X. 1: Représentation de la tuyauterie d'une nappe de la serpentine.

X.5 Déformation de la tuyauterie sous l'effet de gravité :

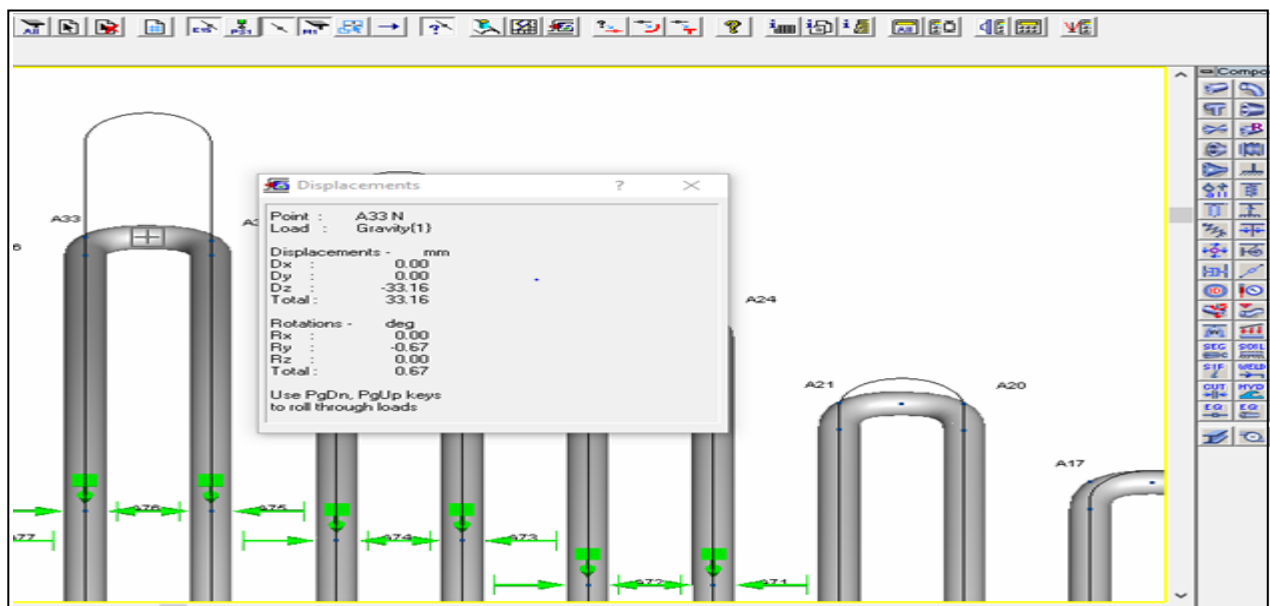


Figure X. 2: Schéma caractérise la déformation de tuyauterie de refoulement par l'effet de gravité.

D'après la figure on prend le cas le plus défavorable (le point A33) ou il y a un grand déplacement

Le déplacement suivant les axes (X, Y, Z) $D_x = 0,00$ mm, $D_y = 0,00$ mm, $D_z = -33,16$ mm (dans les limites acceptable), la rotation égale $R_x = 0,00^\circ$ $R_y = -0,67^\circ$ $R_z = -0,00^\circ$ (dans les limites acceptables).

X.6 Déformation de la tuyauterie sous l'effet de stress :

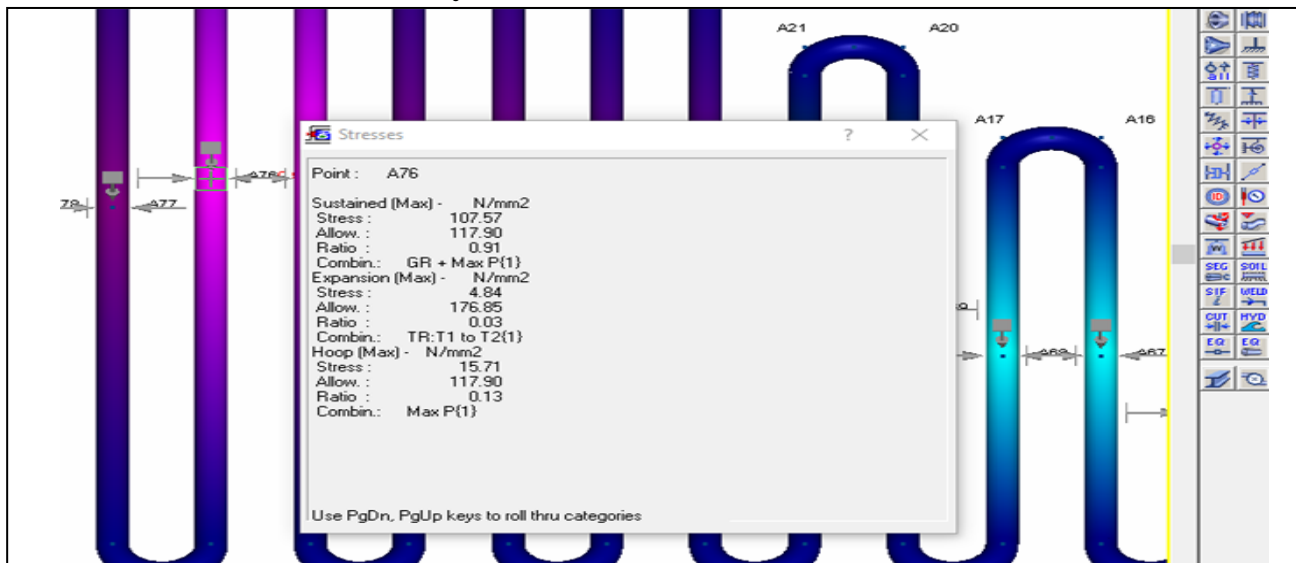


Figure X. 3: schéma caractérise la déformation de la tuyauterie de refoulement par l'effet de stress.

D'après l'ISO de stress il n'y a pas de zone rouge, on prend le point (A76) on voit que les contraintes dues à la pression (sustained stress) égal $107,57\text{N/mm}^2 < 117,90$ (acceptable) et les contraintes dues à la gravité (hoop stress) égal $4,84\text{N/mm}^2 < 176,85\text{ N/mm}^2$, et les contraintes dues à la dilatation (expansion stress) égale $15,71\text{ N/mm}^2 < 117,90\text{ N/mm}^2$ (acceptable).

X.7 Déformation de la tuyauterie sous l'effet dilatation :

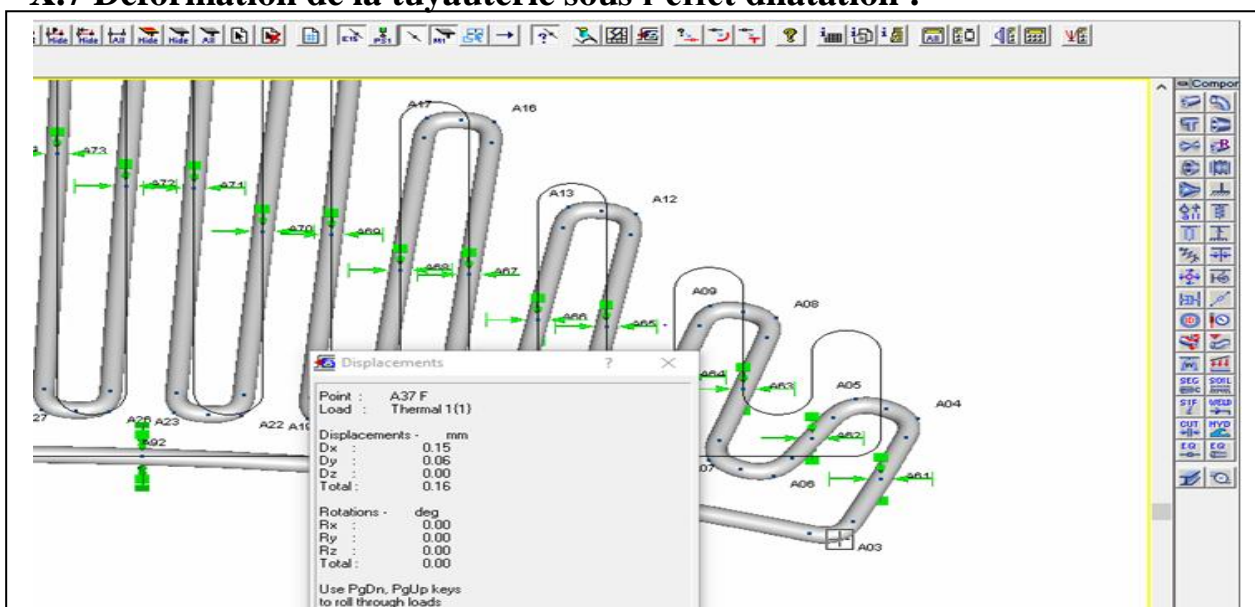


Figure X. 4: Schéma caractérise de la déformation de tuyauterie par l'effet dilatation.

D'après la figure on prend le cas le plus défavorable (le point A37) ou il y'a un grand déplacement, on voit que le déplacement est suivant l'axe X, Y,Z , $D_x=0,15\text{ mm}$ $D_y=0,06\text{mm}$ (dans la limites acceptable), la rotation sur $R_z= 0,06^\circ$ (dans les limites acceptable).

X.8 Déformation de la tuyauterie sous l'effet compression :

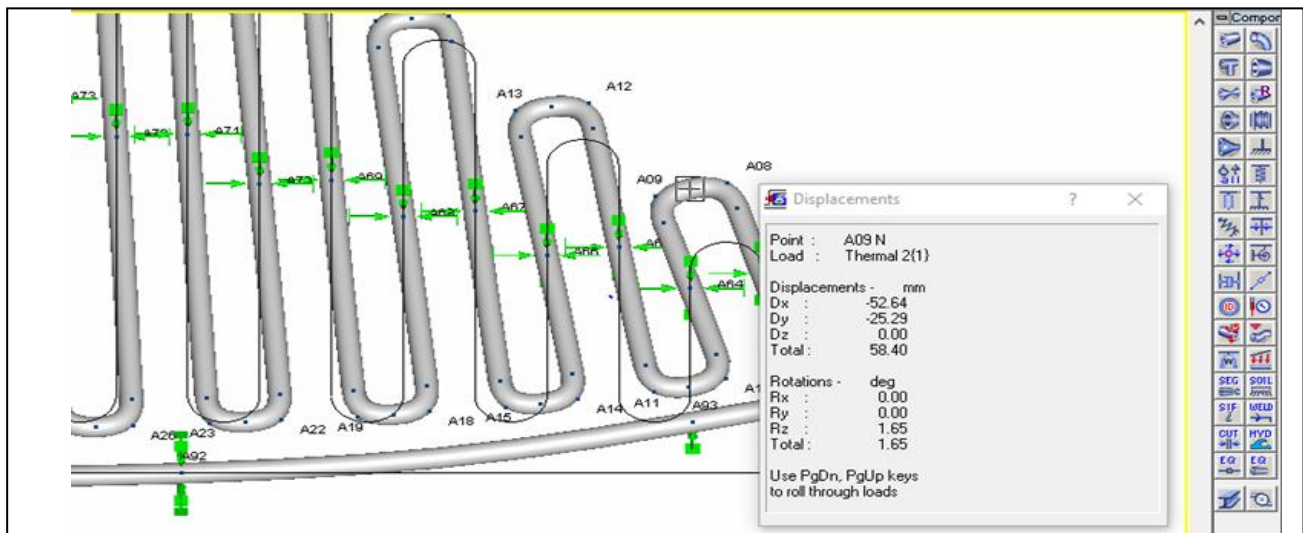


Figure X. 5: Schéma caractérise de la déformation de tuyauterie par l'effet compression.

D'après la figure on prend le cas le plus défavorable (le point A04N) ou il y'a un grand déplacement, on voit que le déplacement est suivant l'axe X, Y,Z , $D_x = -52,64$ mm $D_y = -25,29$ mm (dans la limites acceptable), la rotation sur $R_z = 0,0^\circ$ (dans les limites acceptable).

X.9 Résultat :

➤ **Maximum déplacements (mm) :**

Maximum X:	-103.60	Point: A04 N	Load Comb.: Thermal 2{1}
Maximum Y:	29.10	Point: A03 N	Load Comb.: Thermal 2{1}
Maximum Z:	-33.16	Point: A32 F	Load Comb.: Gravity {1}
Max. Total:	105.21	Point: A04 N	Load Comb.: GRT2 {1}

➤ **Maximum rotations (deg) :**

Maximum X:	-0.03	Point: A23 F	Load Comb.: Gravity {1}
Maximum Y:	-0.67	Point: A33 N	Load Comb.: Gravity {1}
Maximum Z:	3.44	Point: A05 F	Load Comb.: Thermal 2{1}
Max. Total:	3.44	Point: A05 F	Load Comb.: GRT2 {1}

➤ **Maximum restraint forces (N) :**

Maximum X:	8533	Point: A91	Load Comb.: Thermal 2{1}
Maximum Y:	94430	Point: A61	Load Comb.: Thermal 2{1}
Maximum Z:	-16172	Point: A76	Load Comb.: Gravity {1}
Max. Total:	94536	Point: A61	Load Comb.: GRT2 {1}

➤ Maximum restraint moments (N.m) :

Maximum X:	-462	Point: A57	Load Comb.: Gravity {1}
Maximum Y:	309	Point: A57	Load Comb.: Gravity {1}
Maximum Z:	9141	Point: A00	Load Comb.: Thermal 2{1}
Max. Total:	9148	Point: A00	Load Comb.: GRT2 {1}

X.10 Conclusion :

Les paramètres résolus dans ce chapitre ont pu assurer une bonne transportation du fluide dans la canalisation.

Conclusion générale

L'état de l'art est donné sur la production et l'utilisation des réservoirs de stockages des fluides et les différents modes de stockage.

Le stockage des hydrocarbures dans les réservoirs occupe une place primordiale dans la gestion de l'énergie fossile. A cet effet, notre objectif a été d'étudier et de dimensionner un réservoir de stockage de bitume et de mieux comprendre les paramètres de construction ainsi que les phénomènes de rupture pour une conception fiable.

Le dimensionnement d'un réservoir est une étape délicate nécessitant un savoir-faire pointu pour répondre aux exigences des différentes normes et de la réglementation en vigueur.

Toute cette étude a été réalisée conformément aux normes et règlement API 650, ASME, ASTM, NV65, RNV99, et eurocode 3. la prise en charge du volet sécurité est de l'ouvrage, pour, se rendre compte de toutes les éventualités et éviter les défaillances.

Nous aurions bien voulu voir de près le montage sur site de notre réservoir mais les conditions sanitaires ne nous ont pas permis d'aller au bout de notre rêve. Néanmoins, nous souhaitons que notre modeste travail soit une référence pour les étudiants dans ce domaine.

References bibliographies

- **API 650. welded steel tanks for oil storage , American petroleum institute**
- **ASME (American society of mechanical engineers) section X**
- **Eurocode 3**
- **Règles NV65 (règles définissant les effets du vent sur la construction)**
- **Règles NV99**
- **ASTM (American society for testing materials)**
- **Memotech (construction métallique)**

Logiciels:

- **Ametank pour les dessins**
- **Solid works**
- **Auto pipe**

Livres ET sites:

Les livres:

- **Technique de l'ingénieur**
- **Métallurgie de soudage**
- **Assemblage par soudage**
- **Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens
cylindrique verticaux**
- **Profiles européenne**

Les sites:

- **Les alliages d'aluminium et leurs application /CeAl**
- **Laine de verre : isolant en laine minérale-tout sur l'isolation**
- **Laine de roche : isolant en laine minérale**
- **Inspection des réservoirs de stockage**

Les mémoires :

- **Etude et conception d'un bac de stockage de bitume de 1500 m³avec serpentins de bitume intérieur de chauffage (MERABET NASSIM, BOUNOUS MOUHAMED) 2018/2019**
- **Etude et dimensionnement d'un réservoir à toit fixe de capacité 10000 m³ et d'un réseau de tuyauterie pour le stockage de fuel (DAHMANI MOUHAMED, MOULOUDJI MOUHAMED OUALI) 3^{ème} promotion juin 2017**

الملخص:

عملنا هذا يتمحور حول دراسة وتصميم خزان بسعة 2000 متر مكعب من البيتومين ببيجاية.

مع محطة غلاية على شكل ملفات ومضخة، نستخدم الزيت لتسخين المنتج المخزن تحت درجة حرارة 180°C .

▪ الخزان عبارة عن مجموعة من صفائح معدنية الملحومة معا ذات شكل اسطواني مع محور عمودي وسقف ثابت .

▪ لقد استعملنا برنامج auto pipe بالنسبة لشبكة الأنابيب.

▪ تم حساب و تحقق من هذه المكونات وفقا للمعايير الدولية المعمول بها وهي:

. EUROCODE 3, ASME, API 650

بالإضافة إلى القواعد الخاصة بالظروف المناخية RNV99 .

Résumé :

Notre travail consiste à étudier et à concevoir un réservoir d'une capacité de 2000 m³ à Bejaia de produit stocké bitume et à avec une station de chaudière (tuyauterie en forme serpentins et pompe), on utilise l'huile comme fluide pour chauffer le produit stocké « bitume » à température élevée de 180°C.

- Le réservoir est un groupe des tôles cylindriques soudées avec un axe vertical et un toit fixe.
- Nous avons utilisé le programme Auto pipe pour la tuyauterie.
- calcul de dimensionnement et la stabilité de ces composants de réservoir est vérifier selon les normes **API 650, EUROCODE 3, ASME** ainsi que le règlement des conditions de climat **RNV 99**.
- Les mots clé : bitume, réservoir atmosphérique, calorifuge, serpentins, chevron

Abstract:

Our job is to study and design a tank with a capacity of 2000 m³ in Bejaia of bitumen stored product and with a boiler station (coil-shaped piping and pump), oil is used as a fluid to heat the stored product "bitumen «at a high temperature of 180°C.

- The tank is a group of welded cylindrical sheets with a vertical axis and a fixed
- We used the Auto Pipe program for piping.
- Sizing calculation and the stability of these tank components is checked according to **API 650, EUROCODE 3, ASME** and **RNV 99** climate regulation.