

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE 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 : Génie Mécanique
Spécialité : Ouvrages Chaudronnés et Piping

THEME

Étude de la conception d'un bac de stockage à toit
fixe de capacité 37000m³

Présenté par :

MOUSSAOUI SAMIR
HADJAM ABDESSAMED

Promoteur : M.MESKINE

Co-promoteur : A. ELGADIR

Promotion 2019- 2020

Remerciements

C'est avec humilité et gratitude que nous reconnaissons ce que nous devons :

Nous commençons par remercier et rendre grâce à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail.

Nos remerciements vont en particulier à Mr Ifrah R, notre promoteur, qui nous a dirigé et beaucoup aidé afin de mener à bien ce travail.

Nos sincères remerciements à notre encadreur Mr. Khalafat N. pour son aide inestimable et ses précieux conseils.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE sans exception.

Nous tenons à remercier également nos enseignants des différentes phases de notre scolarité.

Notre sincère reconnaissance à l'ensemble des personnels de BUREAU D'ETUDE de EN-GTP pour leurs collaborations et leur accueil chaleureux.

Merci



Je dédie ce modeste travail :

Dédicace

*A mes très chers parents, pour leurs
sacrifices durant toutes ces
années d'études.*

A mes frères et sœurs.

A ma chère grande famille.

A tous mes amis .

A tous mes amis de group MOCP 16.

*A tous ceux qui me sont chers, et qui trouvent
leur place dans mon cœur.*

samir

Je dédie ce modeste travail :

Dédicace

*A mes très chers parents, pour leurs
sacrifices durant toutes ces
années d'études.*

A mes frères et sœurs.

A ma chère grande famille.

A tous mes amis .

A tous mes amis de group MOCP 16.

*A tous ceux qui me sont chers, et qui trouvent
leur place dans mon cœur.*

abdessamed

Sommaire

Introduction générale.....	1
Présentation de l'organisme d'accueil.....	4
Données de calcul	5

CHAPITRE I : Généralités sur les bacs de stockage

1-Introduction	6
2- Les différents types de réservoirs.....	6
2-1- Les réservoirs sous pression	6
2-1-1- Les sphères	6
2-1-2 Les ballons.....	7
2-1-3 Les sphéroïdes	7
2-2- Les réservoirs de stockage à température contrôlée	8
2-2-1- Les réservoirs semi-réfrigérés	8
2-2-2- Les réservoirs réfrigérés ou cryogéniques.....	1
2-3- Réservoirs Atmosphériques	8
2-3-1-Les cuves ouvertes	8
2-3-2-Les réservoirs à toit fixe.....	9
2-3-3-Réservoir à toit flottant	10
3- Critères de choix de type de réservoir	11
4- Choix des matériaux	12
4-1.Critères de choix des matériaux.....	12
4-2-Les aciers de construction	12
5- Notre sujet	13
5-1-Produit stocké	13
5-2 Généralités sur le gasoil.....	14
5-2-1- Nature chimique.....	14
5-2-2- Principales spécification	14
5-2-3- Unité d'hydrodésulfuration du gasoil	14

CHAPITRE II : Dimensionnement et calcul du fond et de la robe

1- Calcul de la robe	15
1-1-Introduction	15
1-2-Données de calcul.....	15
1-3- Calcul de volume	16
1-4- Calcul du nombre de viroles	17
1-5- Calcul des épaisseurs des tôles par virole	17
1.6. Calcul du poids total de la robe	20
Calcul du fond	21
2.1. Introduction.....	21
2.2. Les tôles centrales de fond	22
2.2.1 L'épaisseur. des tôles centrales.....	22
2.2.2 Nombre des tôles centrales	22
2.2.3 Calcul du poids total des tôles centrales	22
2.3. Les tôles marginales	22
2.3.1 Epaisseurs des tôles marginales	22
2.3.2 Largeur de la tôle marginale	23
2.3.3 Le nombre des tôles marginales.....	23
2.3.4 Poids de l'anneau	24
2.3.5 Poids du fond	24
3.Conclusion.....	24

CHAPITRE III: Etude climatique

Introduction	25
Données de calcul	25
Effet du vent.....	25

Action due au ven	25
Actions intérieurs (Ci)	26
Coefficient global de trainée Ct	26
a- Rapport de démentions (λ)	26
b- Pression dynamique normale et extrême	27
c- Pression dynamique de base	27
d- Coefficient dépend Cto	28
3-4 Effet de site	29
3-5 Effet de masque	29
3-6 Effet de dimension	29
3-7 Amplification dynamique	30
3-8 Coefficient de réponse	30
3-9 Coefficient de pulsation	31
3-10 Actions extérieures du vent (C_e)	31
3-11 Actions intérieurs de vent Ci	32
3-12 Actions résultantes (c_e -ci)	34
3-13 Effet du vent	35
4-charge de sable	36
5- Conclusion	36

CHAPITRE IV : Calcul de la Charpente

1-Introduction	37
2- Charpente du toit	37
3- Calcul des pannes	38
3-1 Calcul des charges	39
3-1-1-Pour les pannes D et E IPE 220	39
3-1-2 Pour les pannes A et B et C IPE 180	39
3-2 Vérification de la flèche	40
3-2 1-Pour les pannes D et E IPE 220	40
3-2-2-Pour les pannes A et B et C IPE 180	40
3-3 Vérification de la résistance (flexion déviée)	40
3-3-1Pour les pannes D et E IPE 220	40
3-3-2Pour les pannes A et B et C IPE 180	41
-Calcul des chevrons	42
4-1. Calcul des charges	42
4-2 Vérification de la flèche	44
4-3 Vérification de la résistance (flexion déviée)	44
4-4 Vérification le résistance de chevron au déversement	46
5- Etude des poteaux	48
5-1- Calcul du poteau central	48
5-1-1- Calcul des charges	49
5-1-2 Vérification de la compression	51
5-1-3 Vérification de flambement	51
5.2 Les poteaux intermédiaires	52
5.2.1 Calcul des charges	52
5.2.2 Vérification de la compressio	54
5.2.3 Vérification du flambement	54
6-Conclusion	55

CHAPITRE V : Stabilité de réservoir

1 -Stabilité de la robe	56
1-1 Cornière de rive	56
1-2- Calcul de la poutre au vent	57
1-2-1 Introduction	57
1-2-2 Conception de la poutre au vent	57
1-2-3 Moment résistant exige	57
1-3-Stabilité de la robe sous le vent	59
1-3-1-Calcul de la hauteur maximale non raidie	59

1-3-2 Calcul de la hauteur transformée.....	60
1-3-3 position de la poutre ou vente intermédiaire sur robe	60
1-4- Calcul de la poutre au vent intermediaire	61
1-5- Stabilité du réservoir	62
2-Stabilité du resvoir ou vent	62
2-1- Calcul du Moment de reversement global	62
2-2 moment resistant	63
2-3 Vérification de glissement	64
4-1-3- Vérification de cisaillement au niveau de la plate forme	64
3-Conclusion.....	65

CHAPITRE VI : Les accessoires du réservoir

1-Introduction	67
2- Trou d'homme sur robe.....	67
3- Tubulures	68
4-Porte de visite	68
5- Le jaugeur du réservoir	69
5.1. Définition.....	69
5-2.Fonctionnement	70
6-La cuvette.....	70
7- Mise à la terre	71
8- Escalier hélicoïdal.....	71
8-1 Dimensionnement des escaliers hélicoïdaux.....	72
8.1.1. Etude de vent.....	73
8.1.2.Etude de Sable sur l'escalier.....	74
8.1.3.Evaluation des charges.....	74
8.2.Calcul des limons	74
8.2.1.Evaluation des charges.....	74
8.3.Calcul du palier de repos	76
8.3.1.Tôle.....	76
8.3.2- Elément 1 : UPN160	77
8.3.3. Elément 2 : UPN160	78
8.4.Calcul du poids de l'escalier	81
9.Conclusion	82

CHAPITRE VII : Gamme de fabrication et montage

Fabrication	83
1.1. Généralité.....	83
Procédure de fabrication	83
Gamme de fabrication tôlerie	83
Gamme de fabrication de la charpente.....	86
Gamme de fabrication des accessoires	86
2-Montage de reservoir	88
2.1. Généralité.....	88
2-2-Preparation du chantier	88
.2.3 Documentation technique	88
2.4. Journal de soudage	88
2.5.Documentation D à exécution	89
2.6. Procèdès de soudage	89
2.7 Qalification des Procèdès de soudage	89
2.8 Qalification des soudage	89
2.9 Montage du fond selon l'ordre de soudage	90
2.9.1 Reperage	90
2.9.2 Protection Anti-corrosive du fond.....	90
2.9.3 Mise En Place du fond	90
2.9.4 Pointage du fond	90
2.9.5 Soudage du fond	91
2.10 Montage de robe	91

2.10.1 Preparation des toles	91
2.10.2 Mise En Place De la 1 ^{ere} Virole	91
2.10.3 Pointage Et soudage De 1 ^{ere} Virole	91
2.10.4 Mise En Place De La 2 ^{eme} Virole	92
2.10.5 Pointage Et soudage De La 2 ^{eme} Virole	92
2.10.6 Pointage Et soudage du joint horizontal entre la 1 ^{er} et la 2 ^{eme} virole	92
2.11 Montage et soudage de toit fix	92
2.11.1 Montage les accessoire du toit.....	93
2.12 Execution des Autres Viroles	93
2.13 Montage et soudage de la corniere de rive.....	93
2.14 Montage Des Accessoire du reservoir	93
3. Conclusion	95

CHAPITRE VIII : Soudage et contrôle.

1.Introduction	96
2.Définition du soudage	96
2.1 Diffèrnts orocèdès du soudage	96
3.Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée	96
3.1Dèfintion du procédè	96
3.2Principe du procédè	97
3.3Lèlectrode enrobée	97
4.Soudage à l'arc submerge sous flux solide (SAW)	99
4.1Dèfinition du procédè SAW	99
4.2Principe du procédè SAW	100
5.Joints des soudure	100
5.1Dèfinitions	100
5.2Tableaux rëcapitulatifs de soudage joints soudure du fond	101
6.Diffèrnts types de dèfauts du soudage	105
6.1Fissuration à chaud	105
6.2Fissuration à froid	105
6.3Soufflures	106
6.4Pollution ferreuse	107
6.5Inclusion	107
6.6Morsures et caniveaux	107
6.7Dèfauts de pènètation	108
6.8Collage ou manque de fusion	108
7.Contrôle du soudage	109
7.1L'examen visuel	109
7.2Contrôle magnètoscopie (MT)	110
7.3Contrôle par ressuage (PT)	111
7.4Contrôle radiographie (RT)	112
7.5Contrôle par ultrasons (UT)	113
8.Choix de contrôle pour notre rëservoir	114
9.Conclusion	115

CHAPITRE IX : Essais et protection

1-Introduction	116
2- Essais	116
2-1 Essai du fond	116
2-2 Essai sur renforts des tubulures.....	116
2-3 Essai du toit	117
2-4 Essai d'ètanchèitè de la robe	117
2-5 Contrôle de tassement de la fondation du rëservoir	117
3-Protection	118
3-1 Protection par nettoyage	118
3-2 Protection par revetements (peintures)	118
3-3 Protection par le systèmè	119
3-4 Protection par le systèmè de refroidissement	119

4- Mise à la terre	119
5- Conclusion	119
Conclusion générale	120

1-Introduction générale :

La construction métallique est une branche technique qui répond aux besoins actuels, dans le domaine de la construction. Elle engendrent plusieurs axes à savoir la charpente métallique (bâtiments, hangars, ponts, ...), la chaudronnerie (réservoirs, cuves, échangeurs, récipients...), et la tuyauterie (tubes, canalisations...etc).

Notre sujet sera abordé beaucoup plus sous la chaudronnerie .

La chaudronnerie est un domaine qui occupe un espace très vaste dans l'industrie, elle est soit lourde comme les bacs de stockages, soit légère comme les bouteilles à gaz, tout comme on y trouve des récipients travaillant à haute pression (sphère...) et d'autres à température ambiante (Réservoir Atmosphérique). C'est ainsi que la conception de grand ouvrages vient du souci de stockage de matière consommable en général, et de matières énergiques en particulier (notamment les produits pétroliers).

Le pipeline est un mode de transport des matières fluides réalisé au moyen de conduites constituant généralement un réseau. Les produits généralement visés par terme « Transports par canalisation » sont :le pétrole et autres hydrocarbures liquides, les gaz combustibles, ainsi que certains produits chimiques.

Es ce qui concerne la partie charpente métallique, le problème a sera abordé en étudiant les caractéristiques mécaniques des matériaux des éléments de la charpente du toit leur dimensionnement et leurs comportements en situation critique.

La modernisation demande la rapidité et la solidité de la construction d'édifice, c'est pourquoi on a recours à l'utilisation de l'acier. Celui-ci présente une robustesse élevée, et un domaine élastique qui permet à la structure de mieux s'adapter aux actions extérieures.

De plus, on a la possibilité de récupérer la matière en cas de destruction prévue ou imprévue.

Néanmoins, il est à noter que l'acier est un matériau qui résiste mal à l'incendie.

Présentation de sujet

Notre projet est proposé par le bureau d'étude de GTP, et se compose de consiste à l'étude et la conception d'un réservoir à toit fixe d'une capacité de 37000m³ a hassi r'mel

2-Présentation de l'organisme d'accueil :

Avant d'entamer notre le sujet, nous allons présenter brièvement l'entreprise ou nous avons effectué notre stage pratique, afin de connaître ses activités, et sa structure ...

2-1-Présentation de l'entreprise :

L'EN-GTP (entreprise nationale des grands travaux pétroliers) est une filiale de l'entreprise pétrolière nationale SONATRACH. Implantés au niveau des principaux pôles industriels au nord du pays et au niveau de l'ensemble des champs pétroliers et gazier au sud. Elle est leader en Algérie en matière de construction des ouvrages et installations industriels destinées à la production, transformation, transport et distribution des hydrocarbures.

2-2-Historique de l'EN-GTP :

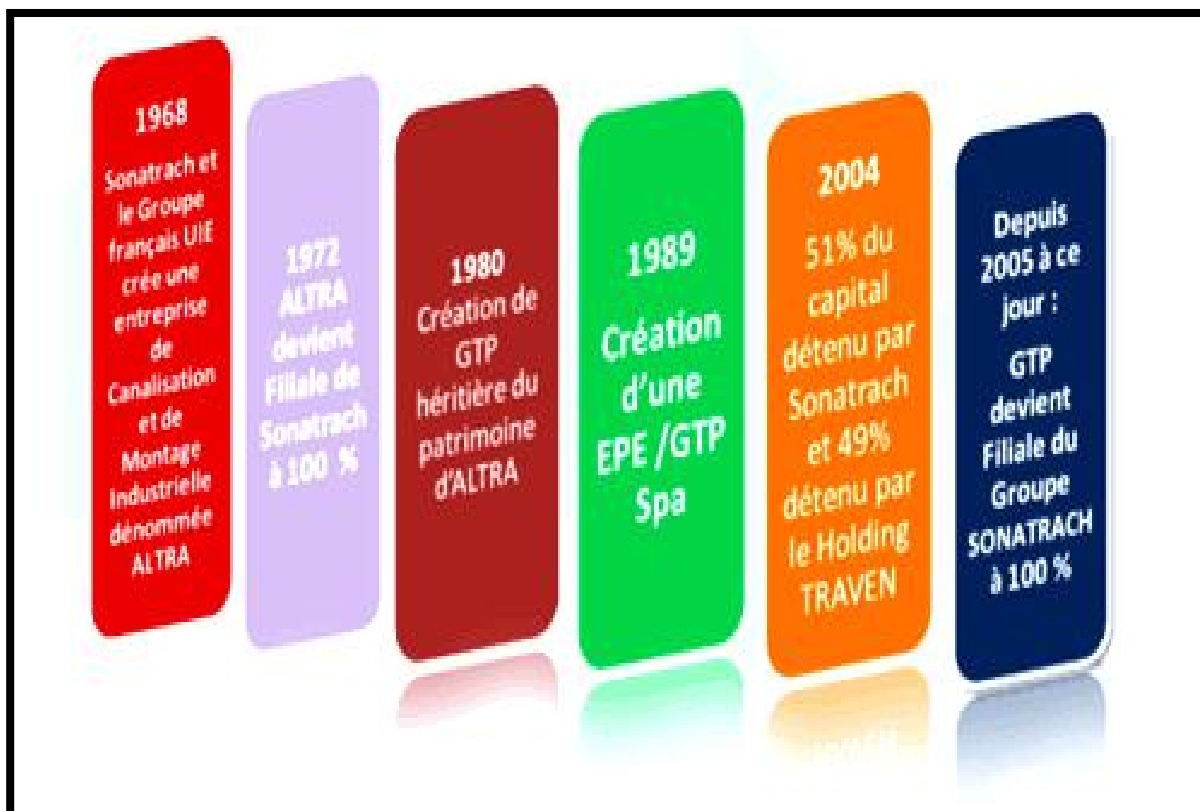


Figure 1 : Evolution de l'EN-GTP

2-3-Les objectifs de l'EN-GTP :

Développer et maintenir l'écoute permanente de leurs clients dans le but de mieux les satisfaire.

Améliorer en permanence la qualité de leur produit et services.

mieux maîtriser leurs coûts notamment la réduction des charges, la diminution des rebuts, des réparations des stocks.

Perfectionner leurs rendements afin de rester leader dans leurs domaines d'activités.

Développer la compétence des personnels par la formation continue.

Améliorer en permanence le système de management de la qualité

2-4-Stratégie de développement de l'EN-GTP :

Elle repose sur des piliers solides :

Maximiser leur expertise reconnue dans leurs marchés principaux.(les hydrocarbures, l'énergie et la pétrochimie)

Se servir de l'expertise pour acquérir des marchés dans les secteurs de l'industrie et l'hydraulique.

Développer à travers un partenariat les interventions sur les unités dans le cadre de la maintenance industrielle confirmée aux capacités dans la préfabrication de tuyauterie et chaudronnerie.

2-5-Domains d'activités de l'EN-GTP :

a-Engineering :

Etude de base de détails

Contrôle de la construction

Mise en service des installations de stockage des hydrocarbures

b-Génie civil et bâtiment :

Terrassement

Fondations d'équipements et des structures

Bâtiments techniques, industriels et administratifs

Infrastructures sociales nécessaires à l'exploitation des unités industrielles

Génie civil lié à la pose des canalisations

c-Montage industriel :

Montage des structures métallique

Montage des tuyauteries et supports

INTRODUCTION GENERALE

Montage des équipements mécaniques

Réservoirs et sphères

Installation d'équipements électriques et instrumentation

Pose et raccordement câble MT et BT

d-Préfabrication :

Préfabrication des structures métalliques

Préfabrication des tuyauteries

2-6-Organisation générale de l'EN-GTP :

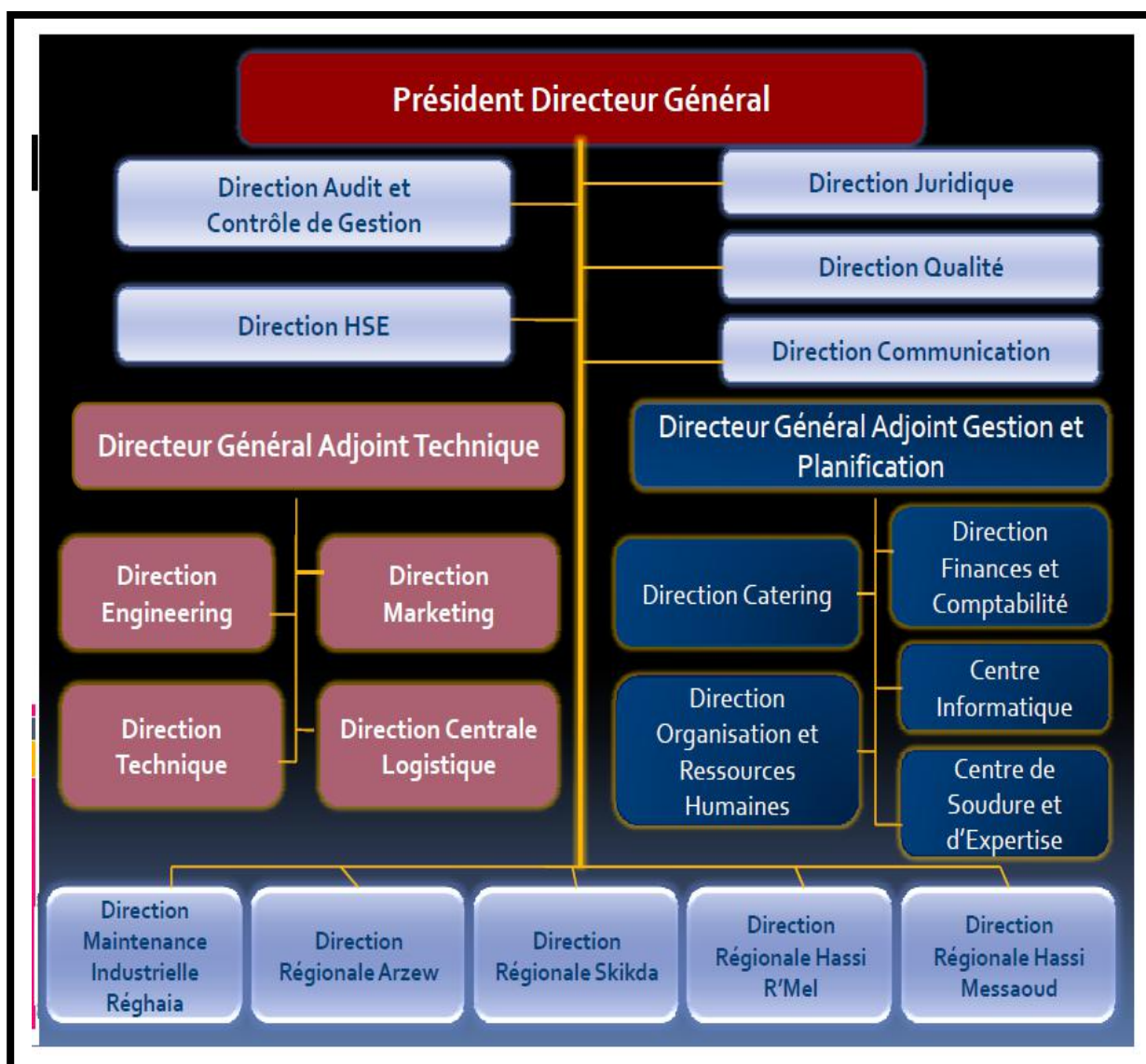


Figure 2 : Organigramme de l'EN-GTP

3-Données de calcul :

- ✓ Fond Pente 1/100
- ✓ Toit fixe Pente $\alpha=5^\circ$.
- ✓ Capacité géométrique 11 287 m³
- ✓ Capacité nominale 37 000 m³
- ✓ Diamètre du réservoir 52 m (52000 mm)
- ✓ Hauteur total du réservoir 20.48 m (20480 mm)
- ✓ Hauteur du la robe 18.86 m (18860mm)
- ✓ Produit stocké **Gas-oil**
- ✓ Densité du produit **0,86**
- ✓ Pression de calcul Atmosphérique
- ✓ Température de calcul **-5 / 55 ° C**
- ✓ Vitesse du vent **160km/h**
- ✓ Séisme **non**
- ✓ Neige **non**
- ✓ Code de calcul API 650 douzième édition.

Matériaux utilisés :

- ✓ **Robe** : A 573 gr 70 pour les viroles V1, 2, 3, 4, 5 ,6 ,7et 8
- ✓ **Fond** :
- ✓ A 573 gr 70 pour les tôles marginales.
- ✓ A 283 gr C pour les tôles centrales
- ✓ **Toit** : A 283 gr C.
- ✓ **Charpente** : S 275

CHAPITRE I :

Généralités sur les bacs de stockage

Chapitre 1 : Généralités sur les bacs de stockage

I. Introduction :

Le transport et le stockage sont des secteurs stratégiques dans l'industrie pétrolière. Les réservoirs de stockage sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers, ils permettent d'assurer une continuité de la production.

Le stockage des différents produits du pétrole, de pétrochimie et de chimie s'effectue principalement dans des réservoirs métalliques, de construction soudée ces réservoirs ont des capacités très variables, car les produits stockés sont nombreux et différents, et pour chacun d'eux, il existe une capacité de stockage fonctionnellement et économiquement adaptée aux caractéristiques du produit stocké.

Le stockage des produits d'hydrocarbures dans des réservoirs dépend de la nature et de la volatilité des produits stockés, ainsi que du maintien de la structure à la pression interne développée par ces produits.

2-Les différents types de réservoirs :

2-1-Les réservoirs sous pression :

Cette catégorie de réservoirs est destinée à contenir des liquides volatils dont la tension de vapeur, à la température ambiante, est supérieure à la pression atmosphérique.

Les réservoirs sous pression comprennent :

2-1-1- Les sphères :

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

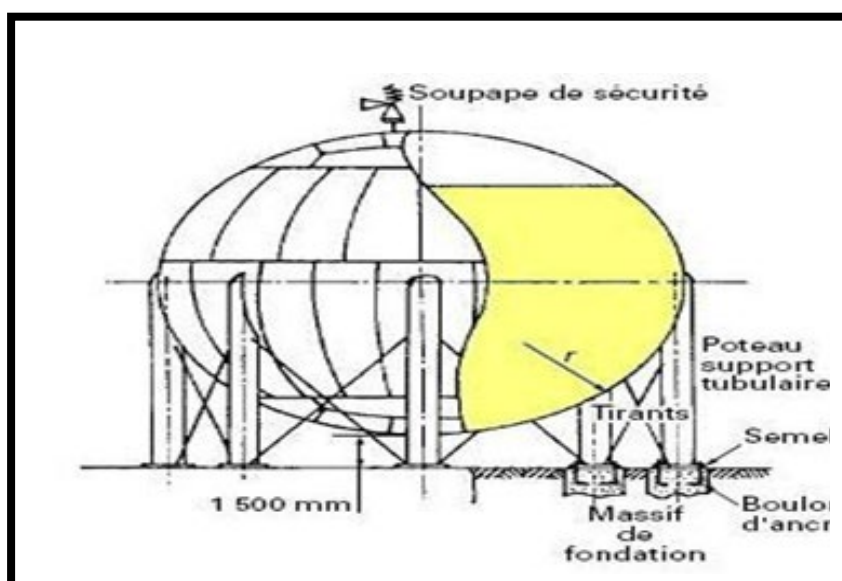


Figure I.1: Sphère de stockage

2-1-2- Les ballons :

Ils peuvent être aériens ou placés sous un talus de terre. Ils conviennent bien pour le stockage sous **forte pression** et c'est leur destination première

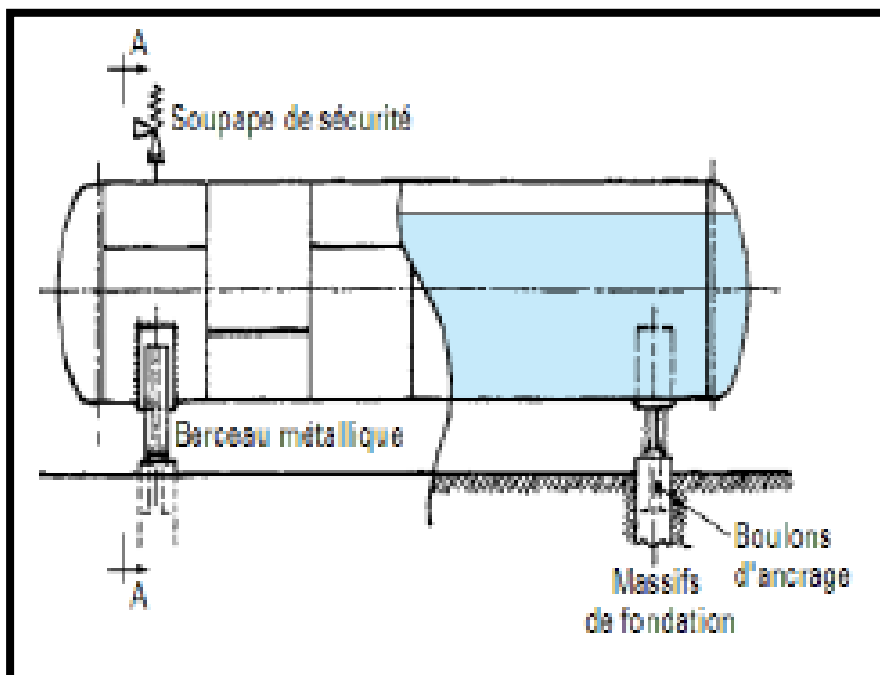


Figure I.2 : schéma Ballon aérien

2-1-3- Les sphéroïdes :

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

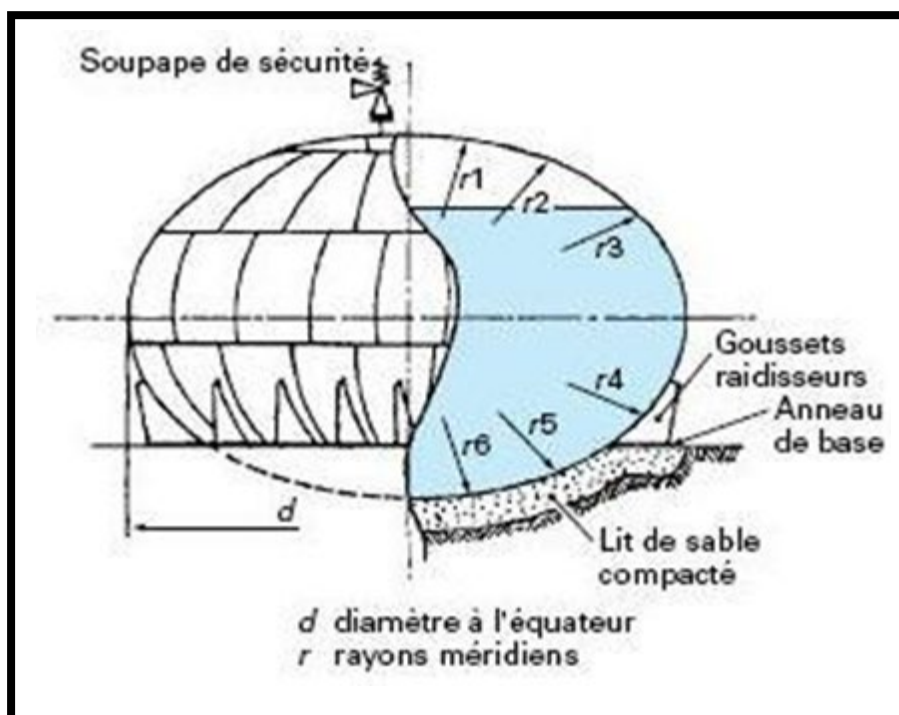


Figure I.3 : Sphéroïdes

2-2-Les réservoirs de stockage à température contrôlée :

Les réservoirs de stockage à température contrôlée sont réservés aux gaz liquéfiés dont la température au point normal d'ébullition(PNE) est inférieure à la température ambiante et qui, par conséquent, sont caractérisés par une forte pression effective à la température du site.

Lorsque les quantités de gaz liquéfiés à stocker sont très importantes, le nombre des unités de stockage sous pleine pression nécessaires devient aussi très important, car leur volume unitaire est limité par les épaisseurs maximales de paroi réalisables.

Pour remédier à cette situation contraignante et peu économique, on a recours à une réduction de la pression d'exploitation par abaissement de la température du produit vers le PNE. Par ce moyen, la capacité des réservoirs peut être considérablement augmentée, ainsi que les quantités stockées car le liquide est alors plus dense.

2-2-1- Les réservoirs semi-réfrigérés :

Les réservoirs semi-réfrigérés (sphères ou ballons) fonctionnent sous pression réduite, comprise entre la pression atmosphérique et la pleine pression à température ambiante.

2-2-2- Les réservoirs réfrigérés ou cryogéniques :

Les réservoirs réfrigérés ou cryogéniques (réservoirs cylindriques verticaux à fond plat) fonctionnent sous pression sensiblement atmosphérique au PNE.

Naturellement, tous ces réservoirs comportent une isolation thermique, d'autant plus importante que la température du stockage est basse.

2-3- Réservoirs Atmosphériques :

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

2-3-1- Les cuves ouvertes :

Elles ne comportent pas de toit et leur emploi est limité aux quelques liquides que l'on peut, sans danger pour leur qualité ou pour l'environnement, exposer à l'air libre. (Exemples de produits stockés : eau, incendie et industrielle, eau potable...)

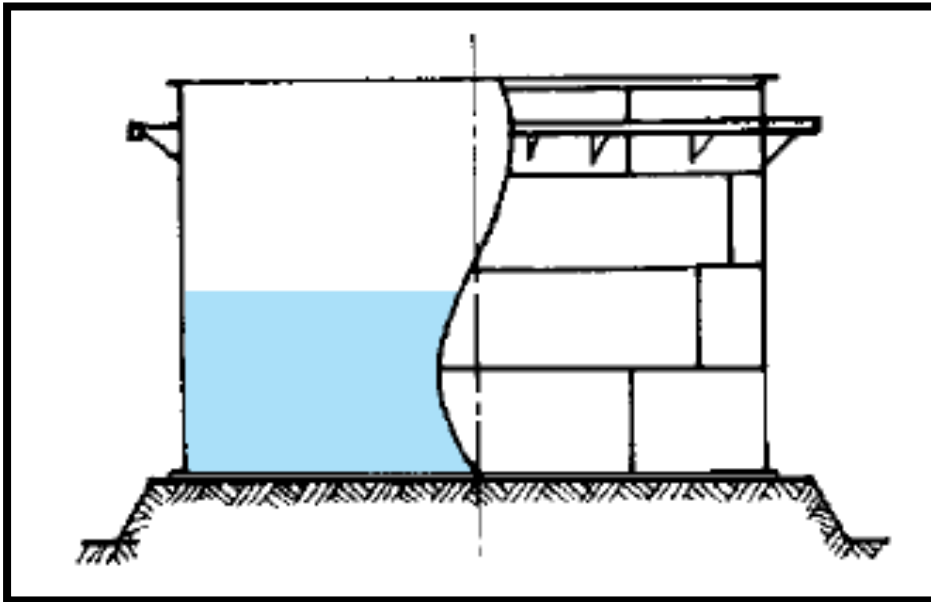


Figure I.4 : Cuve ouverte

2-3-2- Les réservoirs à toit fixe :

Le réservoir équipé d'un toit fixe du type conique, en ombrelle, ou en parasol, est le plus économique à installer. Le toit fixe est d'une construction simple et selon la taille du réservoir, il peut être du type autoportant ou non.

Le toit autoportant conique à peu près la forme d'un cône droit très plat et n'est supporté qu'à sa périphérie. Il n'est utilisé que pour des réservoirs de petits diamètres. (Même remarque pour toits autoportants, en dôme, ombrelle ou parasol).

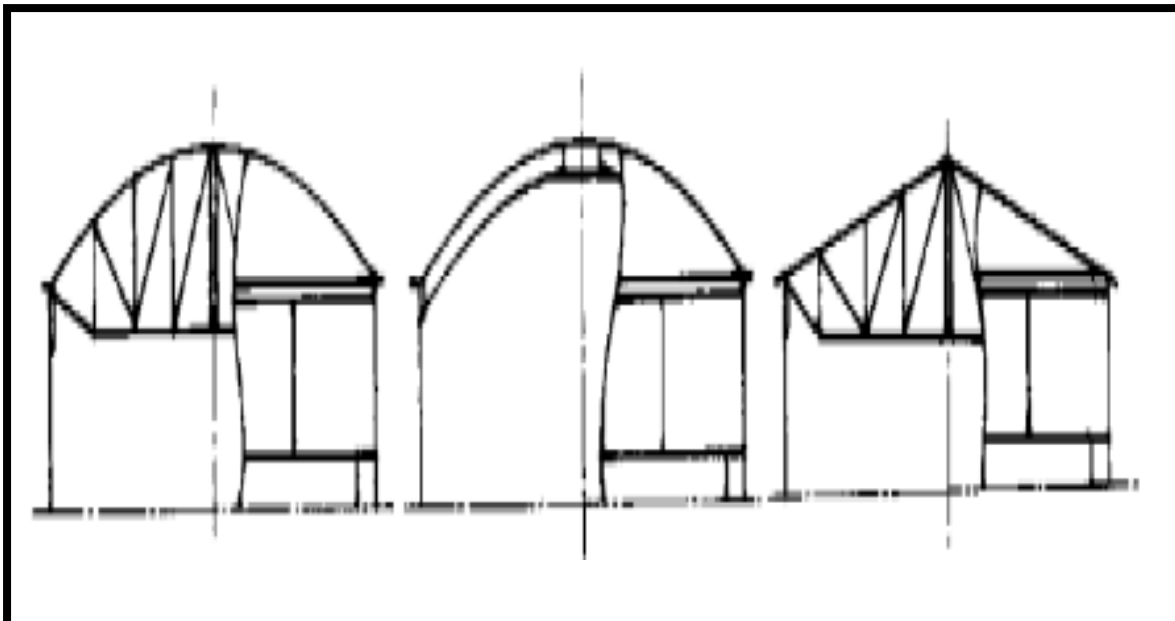


Figure I.5 : Toits fixes autoportant

Le toit conique supporté a approximativement la forme d'un cône. Les tôles du toit sont supportées par des profilés disposés en parapluie, supportés eux-mêmes par des profilés

concentriques reposant sur des rangées de poteaux intérieurs. Plus le réservoir est grand, plus il faut de rangées de poteaux pour supporter le toit.

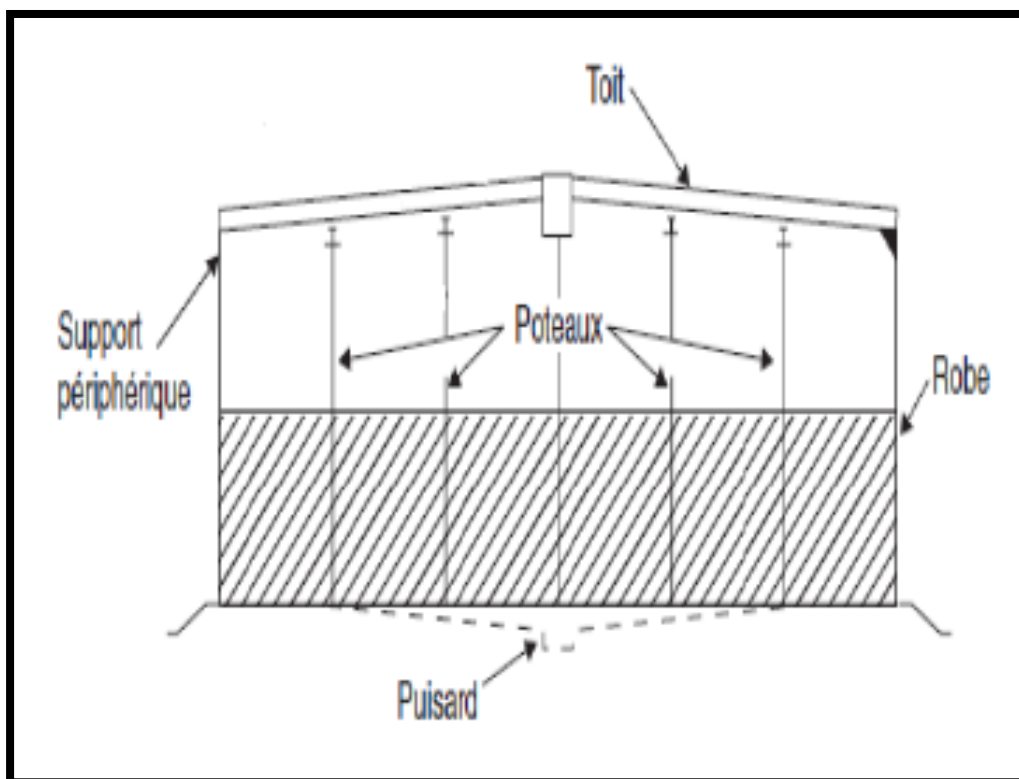


Figure I.6 : Réservoir à toit fixe

2-3-3- Réservoir à toit flottant :

L'espace vapeur qui existe au-dessus du liquide des réservoirs à toit fixe est la source des pertes par respiration et remplissage. Ces pertes peuvent être pratiquement supprimées par l'utilisation d'un type de réservoir qui élimine cet espace vapeur. Il consiste à installer une structure qui flotte directement sur la surface du liquide stocké et que l'on appelle toit flottant.

Le coût supplémentaire entraîné par la construction de ce toit flottant est largement compensé par l'économie réalisée sur le stock. A cette raison économique, il faut aujourd'hui associer la nécessité d'une limitation de la pollution atmosphérique imposée par les réglementations locales.

Les réservoirs à toit flottant sont principalement utilisés pour le stockage de liquides volatils dont la tension de vapeur absolue à température ambiante est comprise entre 0,1 et 0,75 bar ou dont le point éclair est inférieur ou égal à 55 °C. C'est le cas, par exemple, des pétroles bruts, des naphthas (white-spirit, pétroles lampants, etc.) et des diverses essences et carburants. L'absence d'espace vapeur permet à ces réservoirs de fonctionner et d'être étudiés sous pression atmosphérique.

Le toit flottant est un disque mobile qui flotte sur le liquide en suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Pour permettre ces déplacements, un espace annulaire libre existe entre le toit et la robe de la cuve. Il est obturé par un système d'étanchéité déformable qui permet au toit de coulisser sans contrainte à l'intérieur de la robe.

Il existe deux types de réservoirs à toit flottant :

- i. Les réservoirs à toit flottant interne, dont le toit est placé à l'intérieur de réservoirs à toit fixe
- ii. Les réservoirs à toit flottant externe, dont le toit est installé à l'air libre dans des cuves ouvertes



Figure I.7 : Réservoir à toit flottant

3- Critères de choix de type de réservoir :

- Le stockage massif des liquides, pour les différents produits rencontrés dans l'industrie du pétrole, de la pétrochimie et de la chimie, s'effectue principalement dans des réservoirs métalliques, de construction soudée, installés à l'air libre et reposant sur le sol (réservoirs aériens).
- Les produits stockés sont nombreux et différents. Pour chacun d'eux existe une capacité de Stockage fonctionnellement et économiquement adaptée aux caractéristiques du stock envisagé.
- On a vu dans l'article « Les différents types de réservoirs » les divers et l'application de chaque type de réservoir aérien employé dans l'industrie et on a vu des nombreux types de réservoirs qui peuvent être aptes pour stocker un même fluide. Donc le choix devra être orienté en fonction des besoins propre de l'utilisateur pour nous permettrons d'effectuer le choix le plus rationnel.

Les données qui faudra communiquer au fabriquant sont les suivantes :

- Le domaine d'utilisation du réservoir.
-
- La nature du fluide stocké et les services a effectué.
-
- La température et la pression d'exploitation.
-
- Le matériau de construction.
-
- Les dimensions, position et le type de couvercle (fixe, ouvert, à toit flottant).
-
- Les tubulures et autres connexion exigés.
-
- Les spécifications sur le chauffage ou le refroidissement nécessaire.
-
- Les autres spécifications, par exemple les accessoires internes.

4- Choix des matériaux :

Un bon produit (c'est -à -dire qui fonctionne bien, a un bon rapport qualité / prix et donne satisfaction à l'utilisateur) utilise les matériaux les plus adaptés.

Dans la plupart des cas, la gamme des matériaux à utiliser au contact d'un fluide donné est connue par l'expérience, et le choix des nuances et des traitements thermiques (préchauffage) est fait pour obtenir la résistance mécanique au meilleur coût et pour éviter la corrosion généralisée ou la fissuration par corrosion sous tension.

4-1-Critères de choix des matériaux :

Les principaux critères de choix d'un matériau sont :

- ❖ La capacité du matériau de subir sans détérioration notable, les sollicitations de service.
- ❖ La fiabilité de mise en œuvre.
- ❖ La disponibilité sur le marché et le cout.
- ❖ Le respect des exigences réglementaires et de maitre d'ouvrage.
- ❖ Epaisseur des tôles et température théorique du métal.
- ❖ Choisir un acier qui présente une bonne dureté et une bonne soudabilité.

Les aciers ne peuvent être utilisés que s'ils subissent avec succès les essais tels que :

- ❖ L'analyse de vérification de la composition chimique.
- ❖ Les essais de caractéristiques mécaniques.

4-2-Les aciers de construction :

Depuis centaine d'années que l'acier a pu être produit de façon industrielle et s'imposer comme le matériau de la construction métallique, avec des caractéristiques physiques bien supérieures au fer grâce à la présence de traces bien dosées de carbone et éléments chimiques d'addition. La masse volumique de l'acier est de 7850 Kg /m³, et un mètre cube d'acier pesé près de 8 tonnes.

Les aciers de construction métalliques utilisés se présentent sous diverses formes et nuances. Pour effectuer un choix éclairé pour les tôles destinées à être utilisées pour la construction de réservoir cylindrique à toit fixe, on doit donc connaître les propriétés mécaniques des diverses nuances normalisées, leur propriétés de mise en œuvre, leurs garanties...etc. stipulées par la Norme API STD 650 et selon le code américain ASTM, ces nuances sont présentés sur le tableau (8.3).

5-Projet d'Etude :

Etude globale d'un réservoir cylindrique a toit fixe reposant sur une charpente autoporteuse.



Figure I.8 : Réservoir cylindrique a toit fixe

5-1-Produit stocké :

La gamme des produit industriels stockés est très étendue et Les caractéristiques de ces produits sont très différentes .ils Peuvent être stables, volatils, neutres, toxiques, corrosifs ,Inflammables, etc. ils se présentent le plus souvent en combinant plusieurs de ces propriétés. Dans la plupart des cas, ils sont considérés comme des produits dangereux pour l'environnement.

Leur stockage est généralement réglementé et par l'Administration.

Dans ce travail le produit stocké est le gasoil.

5-2-Généralités sur le gasoil :

Le Gasoil (gazole) est un produit liquide de la distillation du pétrole, utilisé comme carburant ou comme combustible.

5-2-1 Nature chimique :

Substance constituée d'hydrocarbures paraffiniques, naphthéniques, aromatiques et oléfiniques, avec principalement des hydrocarbures de C9 à C20

Eventuellement :

- Des esters d'huiles végétales,
- Des additifs multifonctionnels améliorant de performances.

5-2-2- Principales spécification :

- Couleur : jaune pâle (naturelle)
- Point d'éclair : lorsque la température est égale au point d'éclair les vapeurs émises dans l'air peuvent être enflammées
- Indice de cétane : caractérise l'aptitude à l'allumage du gazole
- Tenue au froid : déterminée par le point trouble et la température limite de filtrabilité
- Teneur en soufre

5-2-3-Unité d'hydrodésulfuration du gasoil:

Cette unité permet grâce à l'action des catalyseurs d'obtenir des produits dont la teneur en soufre est très faible.

Ce processus appelé hydrodésulfuration est le traitement à l'hydrogène des coupes de gasoil en présence de catalyseur afin de transformer le soufre contenu dans le gasoil en hydrogène sulfuré(H₂S).

CHAPITRE II :

Dimensionnement et calcul du fond et de la robe

Chapitre II : Dimensionnement et calcul du fond et de la robe

I. Calcul de la robe :

1-1 - Introduction :

C'est la partie cylindrique de l'enveloppe, elle doit résister aux contraintes développées par la pression hydraulique du liquide stocké. Elle est constituée de rangées de tôles rectangulaires cintrées superposées, appelées viroles, qui sont soudées bout à bout. Les joints verticaux de ces tôles sont généralement décalés à chaque changement de virole du 1/3 de leur longueur.

L'épaisseur de chaque virole est calculée à partir des formules simples définies par les codes de construction (API 650).

➤ La capacité totale de réservoir elle est composée de 3 volume :

-le volume mort V_m le niveau le plus bas atteint par le produit stocké dans le réservoir

-le volume réel V_r c'est la capacité réelle de réservoir.

-le volume de sécurité V_s c'est le volume qui garantit que le produit stocké n'atteint pas le toit.



Figure II.1: Montage de la robe

1-2 -Donné de calcul:

Calcul selon API650.

- Format des tôles utilisés (9420x2420xe) A283 grade c, sont des tôles en acier au carbone, à faible et moyenne résistance à la traction

- Surépaisseur de corrosion 1ère virole :3mm et autres viroles : 3mm.

- Hauteur de la robe : $H=18,86\text{m}$
- Hauteur de volume mort : $h1=0.48\text{m}$
- Hauteur de volume liquide : $h2=17.42\text{m}$
- Hauteur de sécurité : $h3=0.96\text{m}$
- Diamètre nominal : 52 m
- Densité du produit(Gasoil) : 0,85

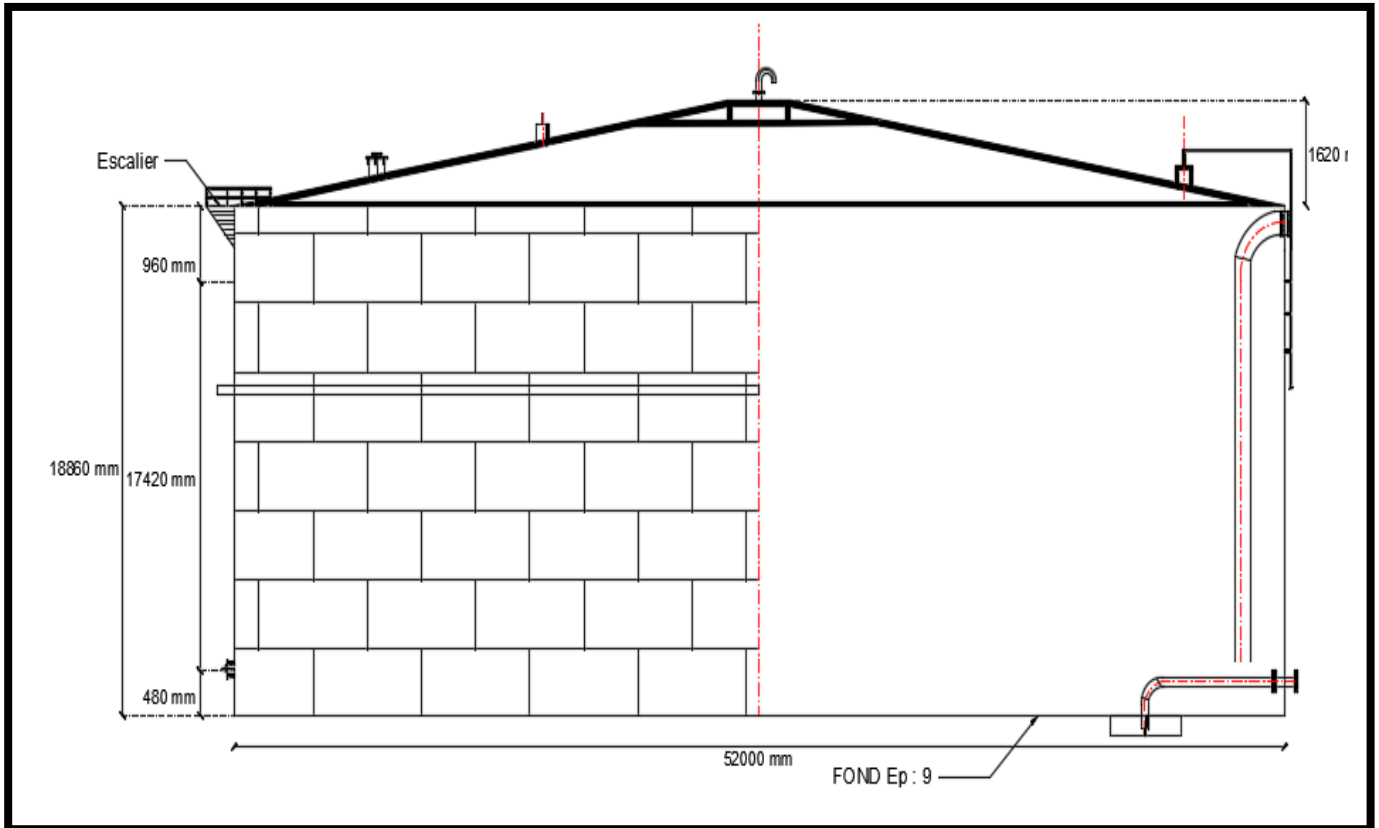


Figure II.2: Schéma de réservoir

Remarques :

- la hauteur de la robe H c'est la somme des trois hauteur $h1 + h2 + h3$

1-3 - Calcul de volume :

Volume morte V_m : $V_m = S.h1$

S : la surface de fond de réservoir ; $S = \pi . R^2 = 2123.71 \text{ m}^2$

$h1$: la hauteur tubulure de sortie (aspiration) depuis le fond au générateur inférieur de tubulure. (Solon L API650 tableau 5.6.1 : $h1 = 0.48 \text{ m}$)

$$V_m = S.h1 = 1021.50 \text{ m}^3$$

Volume de securité V_s : $V_s = S.h3$

S : la surface de fond du réservoir ; $S = \pi . R^2 = 2123.71 \text{ m}^2$

$h3$: Solon L API650 tableau 5.6.1 : $h3 = 0.98 \text{ m}$

$$V_s = S \cdot h^3 = 1199.23 \text{ m}^3$$

On détermine h2 a partir d'hauteur de volume real ou $V_r = S \cdot h^2$

$$V_r = S \cdot h^2 \rightarrow h^2 = V_r / S$$

S : la surface de fond du réservoir ; $S = \pi \cdot R^2 = 2123.71 \text{ m}^2$

$$V_r = 37000 \text{ m}^3 \rightarrow h^2 = 17.42 \text{ m}$$

1-4 - Calcul du nombre de viroles :

sans joints de soudure

$$n = \frac{H}{2420} = \frac{18861}{2420} = 7.79 \text{ viroles}$$

Où on a $n = 8$ viroles

Alors il faut trouver l'hauteur que rest de 0.79

$$\text{Donc } 0,79 \times 2420 = 1839 \text{ mm}$$

Alors 7 viroles de hauteur 2420 mm et Une virole de hauteur 1839mm

-Nombre des tôles par virole N_T :

$$N_{\text{tôles/virole}} = \frac{\pi \cdot D}{L_{\text{tole}}} = \frac{163362.81}{9420} = 18 \text{ tôles}$$

Avec :

D : le diamètre de réservoir .

L : la longueur de tôle utilisée = 9420 mm

Et avec 30 mm de joint de soudure

Nombre des tôles de la robe :

$$N_t = n \times N_{\text{tôles/virole}} = 18 \times 8 = 144 \text{ tôles}$$

1-5 -Calcul des épaisseurs des tôles par virole :

Le calcul des épaisseurs des tôles de la robe s'établi à l'aide de la formule ci-dessous :

Selon API650 Paragraphe. 5.6.3.2 pages (72) On choisit la plus grande valeur entre l'épaisseur théorique et hydrostatique :

❖ L'épaisseur théorique

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

❖ L'épaisseur Hydrostatique

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

Avec :

Td : l'épaisseur théorique

Tt : l'épaisseur hydrostatique

D : diamètre intérieur en (m).

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

G : densité du produit.

Sd : Contrainte admissible théorique 193 MPA pour A537CL.1

St : Contrainte admissible hydrostatique 208 MPA pour A537CL.1

Sd : Contrainte admissible théorique 137 MPA pour A 283 gr C

St : Contrainte admissible hydrostatique 154 MPA pour A 283 gr C

CA : Surépaisseur de corrosion.

➤ **Epaisseurs théoriques :**

1^{ère} virole : $(4,9 \cdot 52 (18,86-0,3) 0,85)/193 + 3 = 23,83\text{mm}$

2^{ème} virole : $((4,9 \cdot 52 (16,44-0,3) 0,85)/193) + 3 = 21,11\text{mm}$

3^{ème} virole : $(4,9 \cdot 52 (14,02-0,3) 0,85)/193) + 3 = 18,36\text{mm}$

4^{ème} virole : $((4,9 \cdot 52 (11,6-0,3) 0,85)/193) + 2 = 14,61\text{mm}$

5^{ème} virole : $((4,9 \cdot 52 (09,18-0,3) 0,85)/193) + 2 = 11,86\text{mm}$

6^{ème} virole : $((4,9 \cdot 52 (6,76-0,3) 0,85)/193) + 2 = 9,11\text{mm}$

7^{ème} virole : $((4,9 \cdot 52 (4,34-0,3) 0,85)/193) + 2 = 6,37\text{mm}$

8^{ème} virole : $((4,9 \cdot 52 (1,92-0,3) 0,85)/193) + 2 = 3,62\text{ mm}$

➤ **Epaisseurs hydrostatiques :**

$$1^{\text{ère}} \text{ virole : } (4,9 \cdot 52 (18,86-0,3))/208 = 22,74\text{mm}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ virole : } ((4,9 \cdot 52 (16,44-0,3))/208) = 19,77\text{mm}$$

$$3^{\text{ème}} \text{ virole : } (4,9 \cdot 52 (14,02-0,3))/208 = 16,77\text{mm}$$

$$4^{\text{ème}} \text{ virole : } ((4,9 \cdot 52 (11,6-0,3))/208) = 13,77\text{mm}$$

$$5^{\text{ème}} \text{ virole : } ((4,9 \cdot 52 (09,18-0,3))/208) = 10,77\text{mm}$$

$$6^{\text{ème}} \text{ virole : } ((4,9 \cdot 52 (6,76-0,3))/208) = 7,77\text{mm}$$

$$7^{\text{ème}} \text{ virole : } ((4,9 \cdot 52 (4,34-0,3))/208) = 4,77\text{mm}$$

$$8^{\text{ème}} \text{ virole : } ((4,9 \cdot 52 (1,92-0,3))/208) = 1,76\text{mm}$$

Tableau II.1: Résultat Récapitulatif des épaisseurs

Viroles	H(mm)	Td (mm)	Tt (mm)	T (mm) adopté	Matière
V1	18860	23,830	22,740	24	A573 Gr 70
V2	16440	21,110	19,770	22	A573 Gr 70
V3	14020	18,360	16,770	19	A573 Gr 70
V4	11600	14,610	13,770	15	A573 Gr 70
V5	9180	11,860	10,770	12	A573 Gr 70
V6	6760	9,110	7,770	10	A573 Gr 70
V7	4340	6,370	4,770	8	A573 Gr 70
V8	1920	3,620	1,760	8	A573 Gr 70

Hauteur des viroles V1-V6: 2420 mm, il faut que $L_{tole} > 1200\text{mm}$

V7 : 1331mm

D'après l'API650 paragraphe 5.6, On prend l'épaisseur de dernière viroles 8 mm

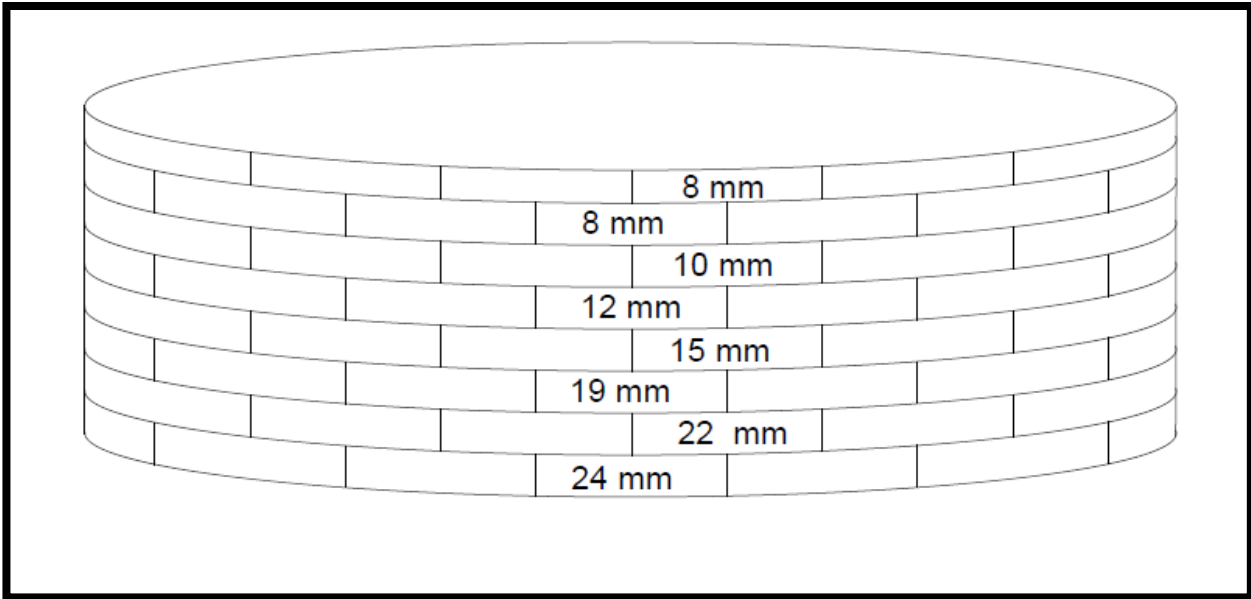


Figure II.3: robe du réservoir

1-6- Calcul du poids total de la robe :

Le périmètre de la robe : $P=163.362m=163362mm$

Ntôles /virole= 18

Format des tôles utilisées (9420x2420xe)

Nombre de viroles : $n = 8$

Forme des tôles utilisées : (9420x2420xe)

Masse volumique de l'acier : $7850kg/m^3$

$$M_{total} = \Sigma M = MV1+MV2+MV3+MV4+MV5+MV6+MV7+MV8$$

$$M_v = L_t \times H_t \times e_v \times N_t \times P$$

$$M_{v1} = 9.42 \times 2.42 \times 0.024 \times 18 \times 7850 = 77307.151 \text{ kg}$$

$$M_{v2} = 9.42 \times 2.42 \times 0.022 \times 18 \times 7850 = 70864.889 \text{ kg}$$

$$M_{v3} = 9.42 \times 2.42 \times 0.019 \times 18 \times 7850 = 61201.495 \text{ kg}$$

$$M_{v4} = 9.42 \times 2.42 \times 0.015 \times 18 \times 7850 = 48316.969 \text{ kg}$$

$$M_{v5} = 9.42 \times 2.42 \times 0.012 \times 18 \times 7850 = 38653.575 \text{ kg}$$

$$M_{v6} = 9.42 \times 2.42 \times 0.010 \times 18 \times 7850 = 32211.313 \text{ kg}$$

$$M_{v7} = 9.42 \times 2.42 \times 0.007 \times 18 \times 7850 = 22547.919 \text{ kg}$$

$$M_{v8} = 9.42 \times 2.42 \times 0.006 \times 18 \times 7850 = 19326.787 \text{ kg}$$

$M_{total} = 370430.098 \text{ kg}$

$M_{total} = 370.43 \text{ Tonnes}$

Donc le poids total de la robe est :

$P_t = (M_t \cdot g) / 10 = (370.43 \times 9.81) / 10 = 363.39 \text{ Tonnes}$

$P_t = 363391 \text{ kg}$

2-Calcul du fond :

2-1 -Introduction :

Le fond de réservoir à la forme d'un cercle, ayant un diamètre de 52 m, il est obtenu à partir de tôles en acier de forme rectangulaire de 6 à 6.5 mm d'épaisseur assemblées à recouvrement et soudées par-dessus. et de dimensions appropriées à la taille du réservoir. Il doit être conçu de manière à faire une vidange aussi complète que possible, ainsi que les purges d'eau et saletés. Pour cela, on lui donne une pente d'environ 1 à 2 % dirigée vers le centre (fond convexe).

Ce fond comprend une bordure annulaire (tôles marginales) en secteurs soudés bout à bout sur laquelle est montée la robe. et pour contrebalancer les efforts de renversement provoqués par le vent ou par un séisme.

- **Le diamètre :**

On a la capacité nominale de réservoir est $C=37000\text{m}^3$ et la hauteur nominale $H=18.86\text{m}$

$C = \pi R^2 \cdot H$ donc $D=52\text{m}$

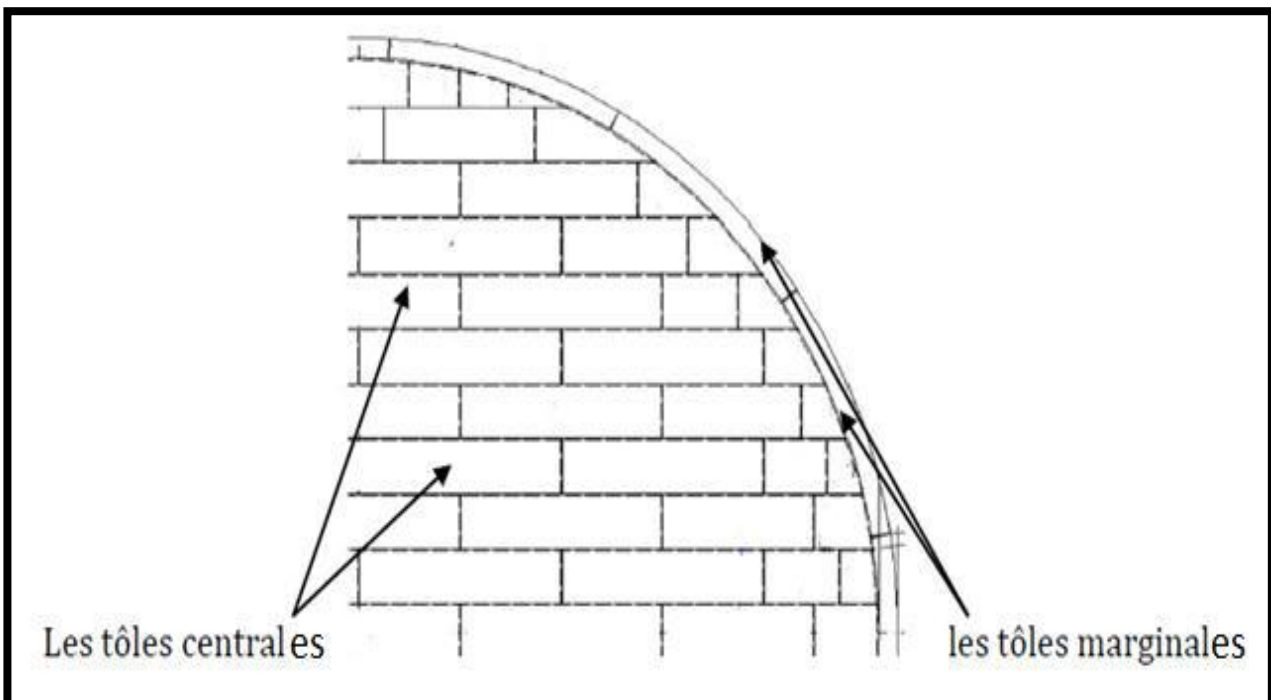


Figure II.4: ¼ Schéma stat du fond

2-2 -Les tôles centrales de fond :

2-2-1 L'épaisseur des tôles centrales :

Selon l'API650 les tôles de fonds devront avoir une épaisseur nominale au minimum de 6mm, en tenant de compte de la surépaisseur de corrosion $e=3\text{mm}$. $T_f=6+3=9\text{mm}$

L'épaisseur adoptée est : **T =9mm** . Avec recouvrement égale 45mm .

2-2-2- Nombre des tôles centrales :

Format des tôles utilisées (9420x2420x9) mm

La masse volumique de l'acier est : **7850 daN/m³**

$$S_{\text{FOND}} = \pi \times R^2$$

$$S_{\text{FOND}} = 3.14 \times (25.30)^2 = 2009.88 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{tôle}} = 9,42 \times 2,42 = 22.79 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{tôle}} = S_{\text{FOND}} / S_{\text{tôle}} = 88.19 \text{ tôle}$$

On adopte **89 tôles**.

2-2-3- Calcul du poids total des tôles centrales :

M tôles centrales= (longueur x largeur x épaisseur x N tôles x ρ)

$$M_{\text{tôle}} = (\text{longueur} \times \text{largeurs} \times \text{épaisseurs} \times \rho) = 9.42 \times 2.42 \times 0.009 \times 7850 = 1610.565 \text{ daN}$$

Donc :

$$M_{\text{tôles centrales}} = 1610.565 \times 89 = 143340.343 \text{ daN} = 14,334 \text{ t}$$

$$M_{\text{tôles centrales}} = 143,34 \text{ t}$$

2-3- Les tôles marginales :

Le fond de réservoir sera muni d'une couronne périphérique en acier sur laquelle repose la robe pour éviter les cordons de soudure des tôles de fond et assurer une bonne fixation de la robe sur le fond.

2-3-1- Epaisseurs des tôles marginales :

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

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

$$\text{Contrainte pour produit} = (T_d - CA) / (T (\text{épaisseur adoptée})) \times (S_d)$$

$$\text{Contrainte pout test hydrostatique} = (T_t / T (\text{épaisseur nominale})) \times (S_t)$$

$$S_t = 193 \text{ MPA}$$

$$S_d = 208 \text{ MPA}$$

$$T_d = 17.32 \text{ mm}$$

$$T_t = 12.69 \text{ mm}$$

L'épaisseur adoptée de la première virole (V1) : **T = 24 mm**

Epaisseur de corrosion CA de la première virole : **CA= 3mm**

Suivant les résultats on a :

$$\text{Contrainte pour produit} = 108.99 \text{ MPA}$$

$$\text{Contrainte pout test hydrostatique} = 148 \text{ MPA}$$

Donc :

$$S_b = 148 \text{ MPA} \leq 190 \text{ MPA}$$

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

T_{min} = 9 mm (API 650 .tableau 5-5-3. Page48).

Alors on a : $T_b = T_{min} + CA = 12 \text{ mm}$

On adopte : **T_b = 12 mm** .

2-3-2- Largeur de la tôle marginale :

Les plaques de fond annulaires ont une largeur radiale (L) qui fournit au moins 600 mm (24 in.) selon (API 650 §5.5.2Page65)

$T_b = 12 \text{ mm}$: épaisseur de la tôle marginale,

$H = 17.42 \text{ m}$: niveau maximal de produit,

$G = 0.85$ densité de produit.(gasoil)

Donc $L > 559.73 \text{ mm}$

L_{tôle marginale} = L' + E + L + L''

L_{tôle marginale} : la largeur de la tôle marginale

E : épaisseurs de la première virole (24mm)

L : la distance entre l'intérieur de la robe et le joint de soudure des tôles centrales (500)

L' : la distance entre l'extérieur de la robe et la bordure de la tôle marginale (100mm)

L'' : la distance de recouvrement des tôles de fond (45mm)

$L = 100 + 24 + 500 + 45 = 669 \text{ mm}$

On adopte : **L = 700 mm**

2-3-3- Le nombre des tôles marginales :

Les tôles utilisés (9420 x 2420 x 12) mm

Le périmètre de réservoir est :

$P = 114.35 \text{ m}^2$

$N \text{ tôles} = P / L = 114,13 / 9.42 = 12 \text{ tôles marginale}$

Chaque tôle de (9420x2420x12) forme deux tôles marginale de

(9420x700x12). Donc : $N_{\text{tôles}} = 12/2 = 6 \text{ tles}$

- 5 tôles marginales d'angle 38°
- 4 tôles marginales d'angle 36°
- 1 tôles marginales d'angle 25°

Cas 2 : Réservoir vide ou moitié plein

Pour les constructions ouverts à leurs parties supérieurs, on applique une dépression uniforme égale à : $-0,3 q$

Selon NV65 page 157, on a une dépression uniforme.

2-3-4-Pois de l'anneau :

$$P = S \times E \times \rho \times N \text{ tôles marginales}$$

p : poids de l'anneau

ρ : la masse volumique de l'acier (7850 kg/m³) **S** : la surface de l'anneau

E : l'épaisseur des tôles marginales

$$\text{La surface de l'anneau : } S = (\pi \times R^2) - (\pi \times R'^2)$$

- **R** : le rayon extérieur de la tôle marginale
- **R'** : le rayon intérieur de la tôle marginale

$$R = 26 \text{ et } R' = 25.30 \text{ m}$$

$$\text{Donc : } S = [(3.14 \times (26^2)) - (3.14 \times (25.30^2))] = 112.81 \text{ m}^2$$

$$\text{Alors : } P = 7850 \times 112.81 \times 0.012 = \mathbf{10.62 \text{ Tonnes}}$$

2-3-5- Poids du fond :

$$P_f = P \text{ tôles centrales} + P \text{ tôles marginales}$$

$$\Rightarrow P_f = 143.34t + 10.62t = 153.96 \text{ t}$$

3- Conclusion :

Ce chapitre avait comme but d'avoir un bon dimensionnement qui assure un bon fonctionnement de l'ouvrage.

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

La robe est l'élément important des réservoirs, car elle est sollicitée aux différentes charges (interne et externes), à ce propos il faut effectuer des calculs judicieux.

CHAPITRE IV : Calcul de la Charpente

Chapitre III : Etude climatique

1. Introduction :

Le présent chapitre de ce projet a pour objet de faire une étude globale des effets de vent exercé sur le réservoir en déterminant les action climatique du vent intérieur et extérieur résultantes agissant sur les parois de la structure on utilise pour cela la règlement NV65(Neige et vent), qui fournit et principes généraux pour la détermination des actions.

2. Données de calcul :

- Zone d'implantation : **HESSI R'MEL zone II**
- Vitesse de vent : - **Extrême 160 km/h 44,44 m/s**

- Catégorie de construction : **6**

3. Effet du vent :

Effet du vent est donné par la formule suivante :

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

$$C_{max} = C_e - C_i$$

C_i : Actions intérieures

C_e : Actions extérieures

3.1. Action due au vent :

L'action exercée par le vent sur la surface courbe du réservoir est considérée comme normale, Elle est fonction :

1. de la vitesse du vent.
2. de la catégorie de la construction.
3. de l'orientation et la force de la surface par rapport au vent.
4. des dimensions du réservoir considéré.

Une face est dite soumise à une pression (ou à une surpression) lorsque la force normale à cette face est dirigée vers elle (au vent).

Elle est dite soumise à une succion (ou à une dépression) lorsque la force est dirigée sens contraire (sous de vent).

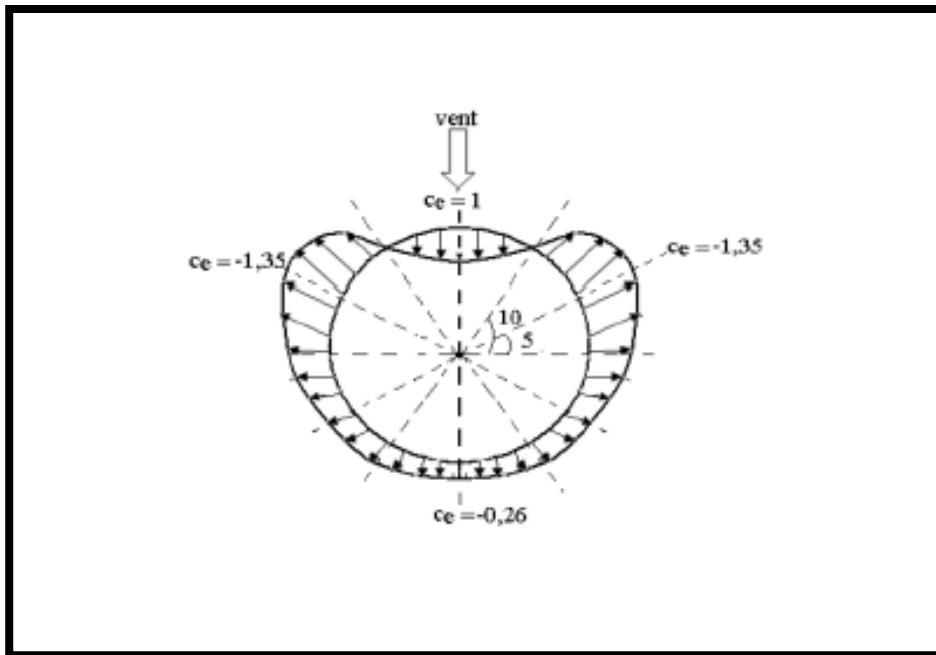


Figure III.1: La figure 1 représente un schéma descriptif de les Actions extérieures

3.2. Actions intérieures C_i :

On a deux cas :

- Cas 1 : Réservoir plein :

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

Surpression : $C_i = 0,6 (1,10 - C_t)$.

Dépression : $C_i = - 0,6 (1,10 - C_t)$.

avec C_t : Coefficient global de trainée

3.3. Coefficient global de trainée C_t :

Pour la catégorie VI, on a suivant le tableau VIII (NV65 page 157) :

$$C_t = \gamma C_{t_0}$$

a. Rapport de dimension (λ) :

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

$$\lambda = \frac{H}{D} = \frac{20.48}{52} = 0.39$$

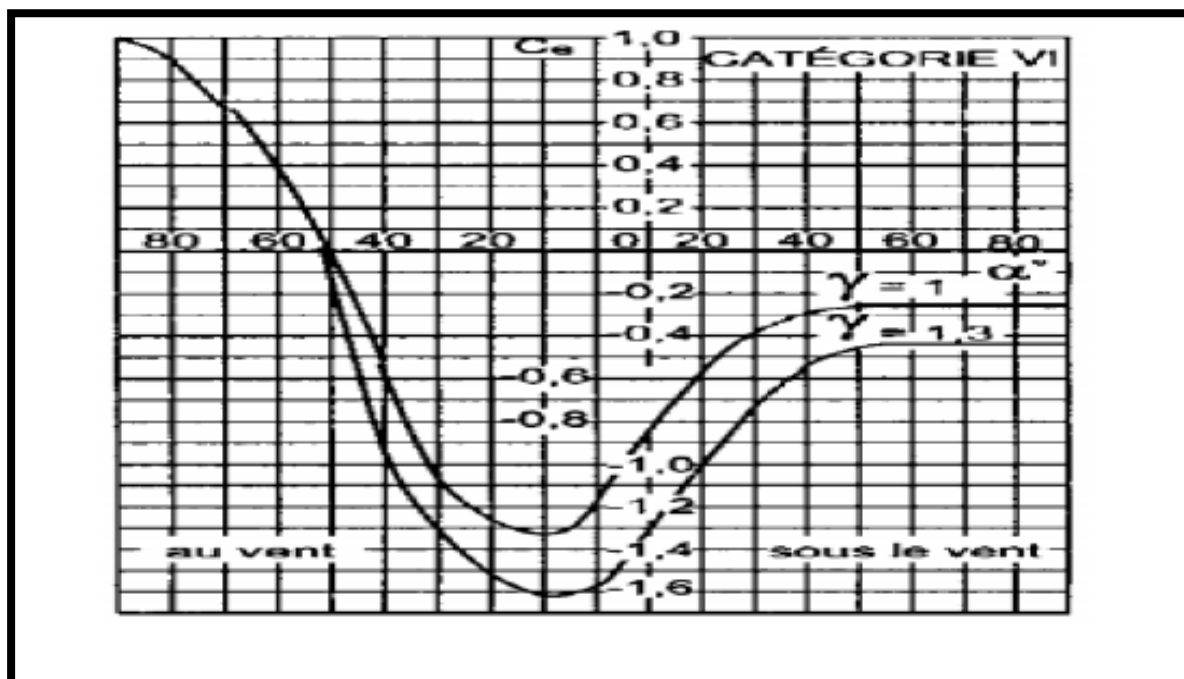


Figure III.2: Diagramme pour trouver les coefficients de pression (C_e)

$$\lambda = 0,39 \leq 1 \rightarrow \gamma = 0,9 \text{ (Règlement NV 65)}$$

b. Pression dynamique normale et extrême

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

$$\frac{q_{\text{extreme}}}{q_{\text{normale}}} = 1.75$$

c. Pression dynamique de base :

c.1. Définition :

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

On a la valeur de la vitesse de vent extrême $V_{\text{extrême}} = 180 \text{ km/h} = 50 \text{ m/s}$

Donc :

$$q_{10}(\text{extreme}) = \frac{(V_{\text{extrême}})^2}{16.3} = \frac{(44.44)^2}{16.3} = 121.18 \text{ daN/m}^2$$

$$q_{10}(\text{normale}) = \frac{q_{10}(\text{extreme})}{1.75} = \frac{121.18}{1.75} = 69.24 \text{ daN/m}^2$$

c.2. Effet de la hauteur au-dessus du sol :

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

$$q_h = 2.5 \times \frac{H + 18}{H + 60} \cdot q_{10} \dots \dots \dots (\text{Règlement NV 65})$$

Où

H : La hauteur de réservoir $H = 20,48 \text{ m}$

$$q_h(\text{extreme}) = 2.5 \times \frac{H + 18}{H + 60} \cdot q_{10}(\text{extreme}) = 2.5 \times \frac{20.48 + 18}{20.48 + 60} \cdot 121,18 = 144.84 \text{ daN/m}^2$$

$$q_h(\text{normale}) = 2.5 \times \frac{H + 18}{H + 60} \cdot q_{10}(\text{normale}) = 2.5 \times \frac{20.48 + 18}{20.48 + 60} \cdot 69,24 = 82.76 \text{ daN/m}^2$$

d. Coefficient dépend Ct_0 :

De la rugosité de surface ν

Du nombre de REYNOLDS : $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$

Avec :

$$Re = 4,17 \cdot 10^5$$

$$\nu = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (coefficient de viscosité du gasoil)}$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \rightarrow d = \frac{Re \cdot \nu}{V} = \frac{4,17 \cdot 10^5 \times 14,4 \cdot 10^{-6}}{44,44} = 0,13$$

$$d = 0,13 < 0,28$$

Donc à partir de tableau 14 du Règlement NV65 $d = 0,13 < 0,28$

$$d\sqrt{q} = 0,13\sqrt{121,18} = 1,43$$

donc à partir de tableau 15 catégorie VI, du Règlement NV65 (NV65 page 81) $Ct_0 = 0,47$

→ $Ct = \gamma Ct_0 = 0,9 \times 0,47 = 0,4239$

Cylindres à base circulaire sans nervure et possédant un poli spéculaire et durable(1).		
	$d \geq 0,28$	0,45
	$d < 0,28$	0,45
	et $d \sqrt{q} \geq 1,5$	
	$0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$	$0,90 - 0,30 d \sqrt{q}$
	$d \sqrt{q} \leq 0,5$	0,75

Tableau III.1 : T15 du Règlement NV65

3.4. Effet de site :

La nature du site d'implantation en comparaison avec celui des relevés météo peut conduire à une diminution ou une augmentation de la vitesse du vent et donc des pressions correspondantes. Les règles NV 65 considèrent trois types de site :

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

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

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

Donc d'après de tableau 8 de le Règlement NV 65 l'Effet de site $K_s=1,35$.

3.5. Effet de masque :

Il y a effet de masque lorsque la construction envisagée est masquée et protégée par d'autres constructions de grande probabilité de durée.

Pour notre cas pas d'effet de masque donc Effet de masque $K_m=1$

3.6. Effet de dimension :

La vitesse du vent n'est pas uniforme dans l'espace. Les relevés météo sont faits sur des surfaces frappées par le vent dont la plus grande dimension ne dépasse pas 0,50 m. Si la surface frappée est beaucoup plus grande, la résultante moyenne des efforts pourra donc être réduite en pondérant les pressions dynamiques de base pas un coefficient de réduction $\delta \leq 1$.

la grande dimension est le diamètre qui égal 52m

la hauteur H égal 20,48 m < 30m

A partir de Figure R-III-2 de le Règlement NV 65 le coefficient de réduction $\delta = 0,77$

3.7. Amplification dynamique :

Dans la direction du vent, il existe une interaction dynamique entre les forces engendrées par les rafales de vent et la structure elle-même.

La connaissance du mode fondamental d'oscillation de la structure dans la direction de vent étudiée est primordiale pour la prise en compte de ce phénomène.

Plus la structure sera flexible (grande période d'oscillation) et plus les amplifications des déformations, et donc des efforts dans la structure, seront importantes.

Pour tenir compte de cet effet, il faut pondérer les pressions dynamiques de base par un coefficient « d'amplification dynamique » β . $\beta = \theta (1 + \xi\tau)$

Avec :

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

τ : Coefficient de pulsation déterminé à chaque niveau de la structure en fonction de sa hauteur H au-dessus du sol et donné par l'échelle fonctionnelle de la figure 14 de NV 65

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

3.8. Coefficient de réponse :

$$T = 0,1 \frac{H}{\sqrt{D}} = 0,1 \frac{20,48}{\sqrt{52}} = 0,284$$

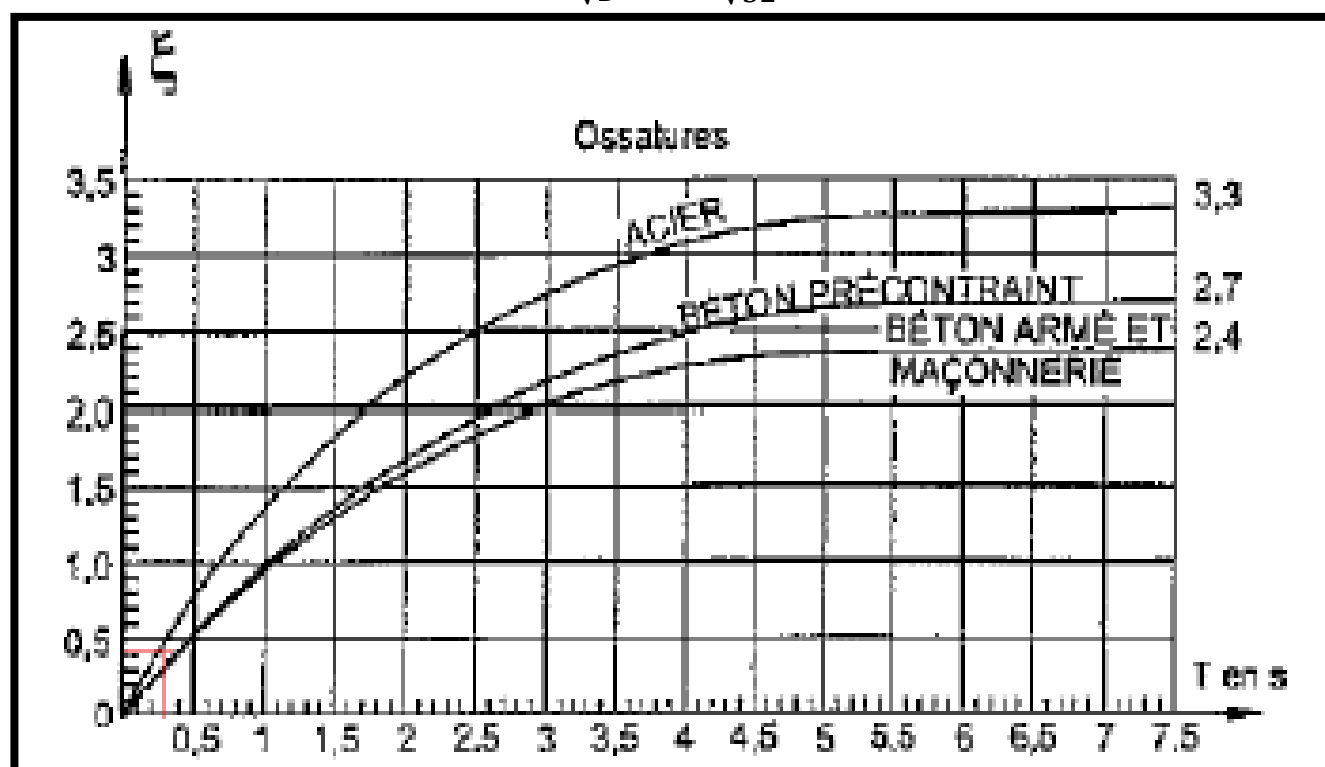


Figure III.3: Coefficient de réponse ξ

Donc à partir de le Règlement NV65 Figure13 : $\xi = 0.4$

3.9. Coefficient de pulsation :

On a $H = 20,48$ m à partir de le Règlement NV65

$$\tau = 0.35$$

D'où

$$\beta = \Theta (1 + \xi \tau) = 1.(1 + 0,4 \times 0,35) = 1,141$$

3.10. Actions extérieures du vent (Ce) :

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

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

Dans notre cas $\gamma = 0.9$ donc il faut faire une extrapolation linéaire pour trouver les valeurs de Ce

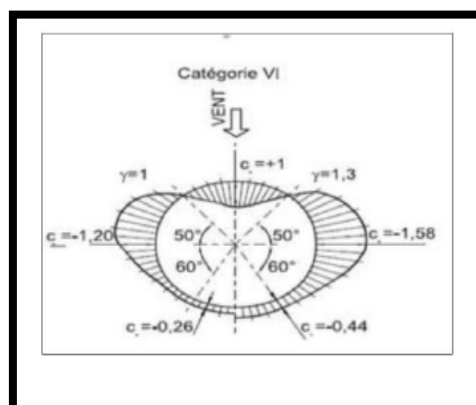


Figure III.4: Forme polaire des actions extérieures pour $\gamma = 1$ et $\gamma = 1.3$

Premièrement on fait une interpolation linéaire :

Pour $\alpha = 0$ on a

$$\gamma = 1, Ce = -1,2 - 1,2 = 1a + b$$

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

$$a = -1,3 ; b = 0,13 \text{ donc } Ce = -1,3\gamma + 0,13$$

$$\text{pour } \gamma = 0,9 ; Ce = -1,3(0,9) + 0,13 = -1,06$$

Deuxièmement on fait une répétitions pour $\alpha = (50, 90, -60, -90)$

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

Tableau III.2: les valeurs d'actions extérieures

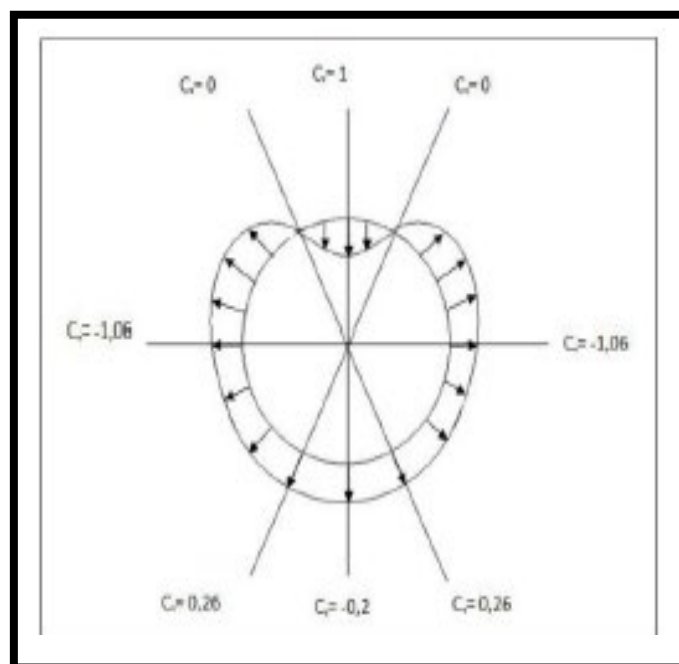


Figure III.5: La forme polaire d'actions extérieures

3.11. Actions intérieures de vent C_i :

On a deux cas :

Cas1 : réservoir plein :

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

Surpression :

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

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

$$C_i = 0,4017$$

Avec C_t : coefficient global de trainée

Dépression :

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

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

$$C_i = 0,4017$$

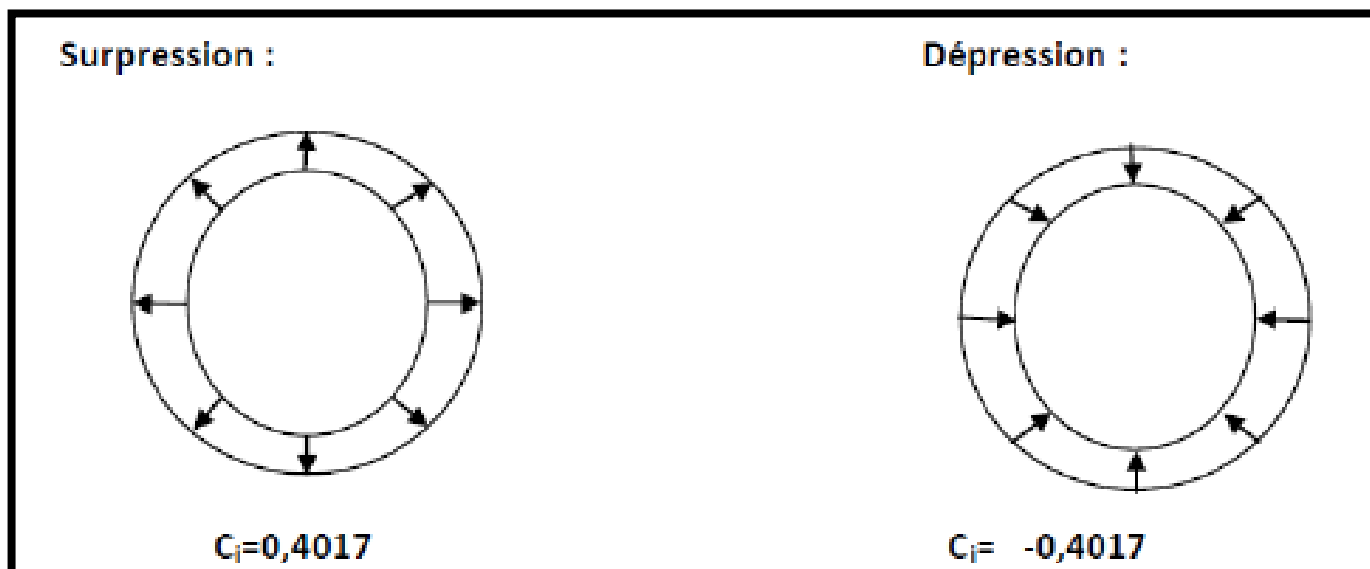


Figure III.6: Représentation des c_i

Cas 2 : Réservoir vide ou moitié plein

Pour les constructions ouvertes à leurs parties supérieures, on applique une dépression uniforme égale à : $-0,3 q$

Selon NV65 page 157, on a une dépression uniforme.

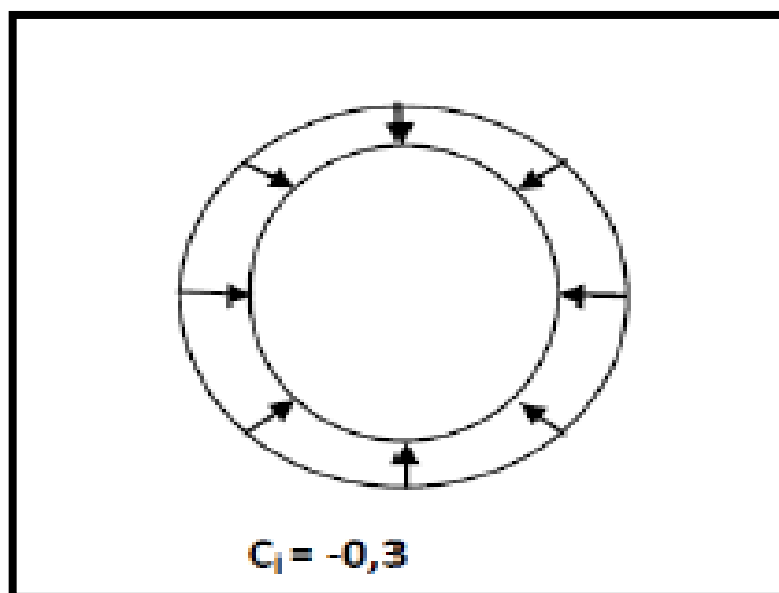


Figure III.7 : Représentation des c_i

3.12. Actions résultantes (Ce-Ci) :

❖ 1^{er} cas : Réservoir plein:

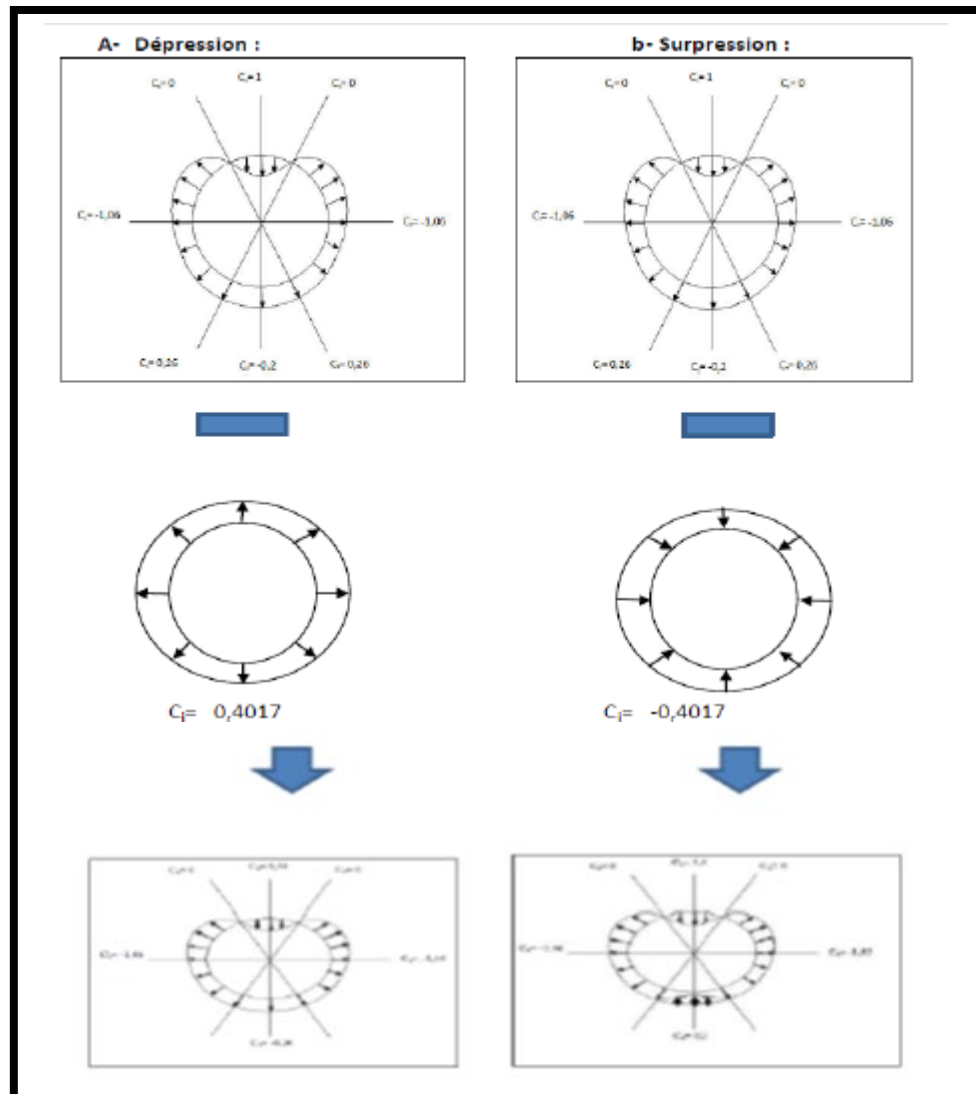


Figure III.8 : Représentation des c_i

❖ 2^{ème} cas : Réservoir vide:

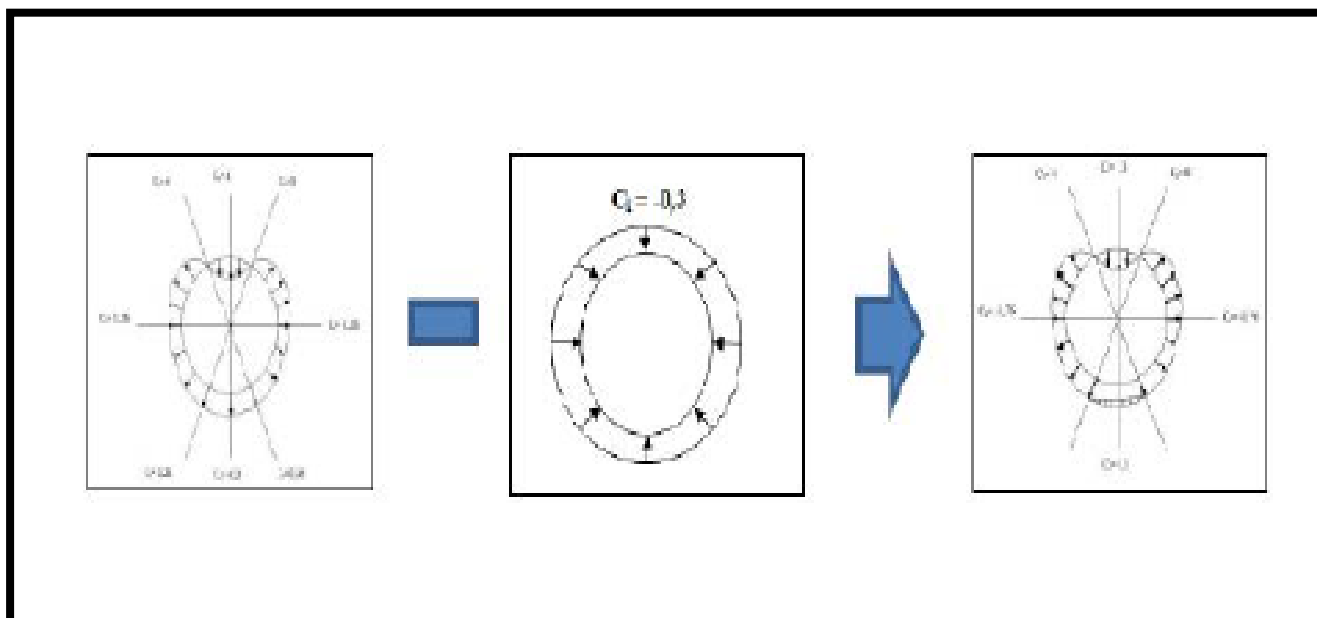


Figure III.9: Représentation des c_i

Le cas le plus défavorable, lorsque le réservoir est vide ou moitié remplis le toit joue un rôle deraidisseur. De ce fait les contraintes de compression sont moins importantes $C_{max} = 1,45$.

3.13. Effet de vent :

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

- ❖ $K_s=1,35$ (coefficient de site)
- ❖ $K_m=1$ (coefficient de masque)
- ❖ $\delta= 0,77$ (coefficient de réduction des pressions dynamique)
- ❖ $\beta= 1,141$ (coefficient de majoration)
- ❖ $q_h=144,84$ daN /m² (la pression dynamique agissant a hauteur H)
- ❖ $C_{max} =1,46$ (coefficient de résultant)

$$\Rightarrow Q = 144,84 \cdot 1,1 \cdot 1,35 \cdot 0,77 \cdot 1,41 \cdot 1,46$$

$$Q = 250,81 \text{ daN /m}^2$$

4. Charge de sable sur le toit de réservoir :

Les charges de sable résultant de l'accumulation des grains de sable déposés par le vent sur la toiture.

Vu la toiture du réservoir qui représente une légère pente ($< 5\%$) et l'importance de son rayon de giration, alors la charge de sable q (KN/m²) doit être prise en compte sous forme d'une charge uniformément répartie.

. $q = 0.25$ KN/m² . Tableau 7.1 (page 32 RNV99)

Conclusion :

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

- $Q_{\text{vent}} = T_{\text{dynamique}}(\text{extrême}) = 250,81$ daN/m² .

(Lorsque le réservoir est vide, est le cas le plus défavorable au vent).

- $Q_{\text{sable}} = 25$ daN / m²

CHAPITRE IV :

Calcul de la Charpente

Chapitre IV : Calcul de la Charpente

1. Introduction :

Le réservoir à toit fixe supporté le toit conique assez plat avec une pente recommandée de 3° . Ce toit sont constitués d'une charpente supportée par un plusieurs poteaux et tubes, qui s'appuient sur la fond de l'ouvrage.

Pour assurer la stabilité et la résistance de l'ouvrage aux différentes sollicitations auxquelles il est soumis on 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 poteaux. Le règlement L'EUROCODE 3.

2. Charpente du toit :

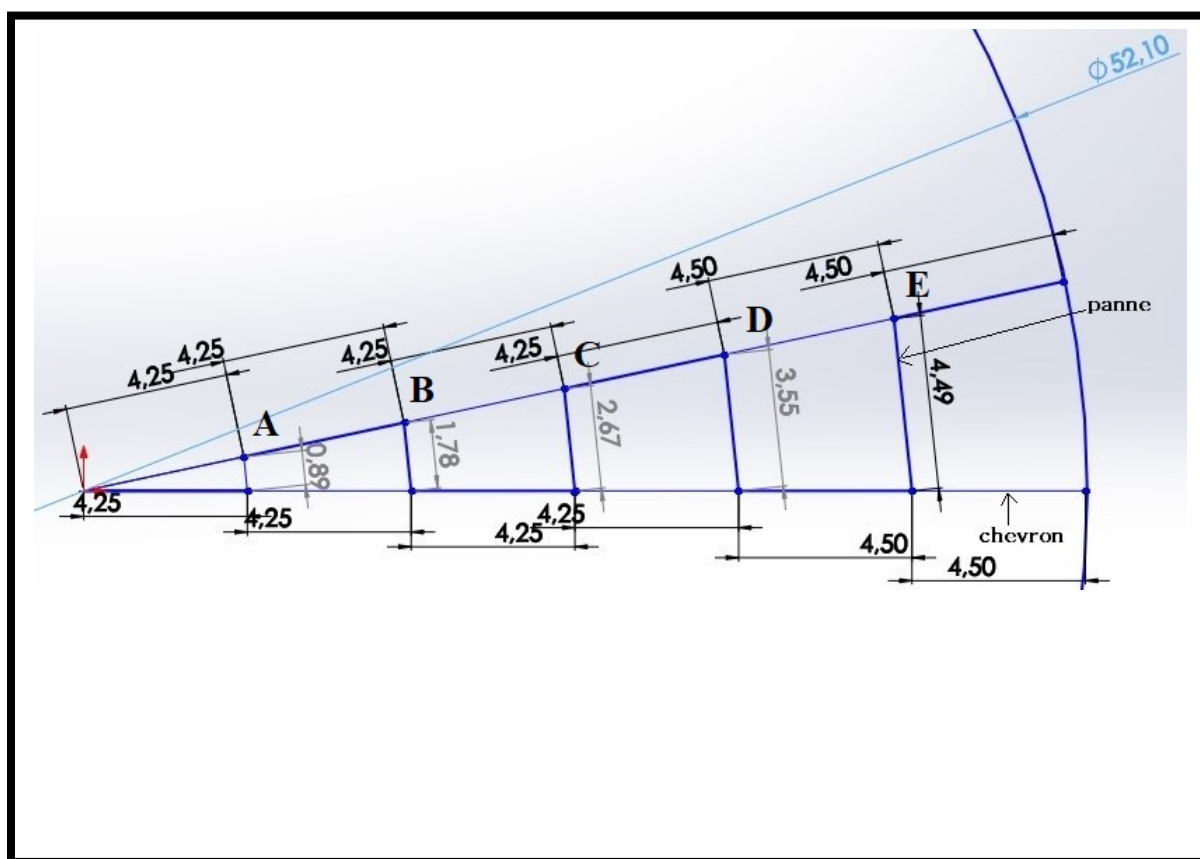


Fig IV.1 : Schéma de la charpente du toit fixe

3. Calcul des pannes :

Les pannes sont boulonnées avec les poteaux intermédiaire et secondaire, et sont en contact avec la toiture, Elles reposent sur deux appuis et sont soumises a une flexion déviée et seront placées suivant la figure suivante :

On utilise l'EUROCODE 3 pour calcul :

Pour déterminer le profile convenable on choisit la panne la plus sollicitée. On choisit un IPE 180 Pour les pannes A et B et C , ces caractéristiques sont :

$$I_y = 1317 \text{ cm}^4 \quad I_z = 101 \text{ cm}^4 \quad I_t = 4.73 \text{ cm}^4 \quad W_{pl y} = 166 \text{ cm}^3 \quad W_{pl z} = 34.6 \text{ cm}^3 \quad P_p = 18.8 \text{ kg/ml}$$

On choisit un IPE 220 Pour les pannes D et E , ces caractéristiques sont :

$$I_y = 2772 \text{ cm}^4 \quad I_z = 205 \text{ cm}^4 \quad I_t = 9.03 \text{ cm}^4 \quad W_{pl y} = 285 \text{ cm}^3 \quad W_{pl z} = 58.1 \text{ cm}^3 \quad P_p = 26.2 \text{ kg/ml}$$

Résolution de système

- ❖ Pour les pannes D et E IPE 220

Comme indiqué sur la figure ci-dessus la panne est chargée par un type de charge, une charge répartie Q .

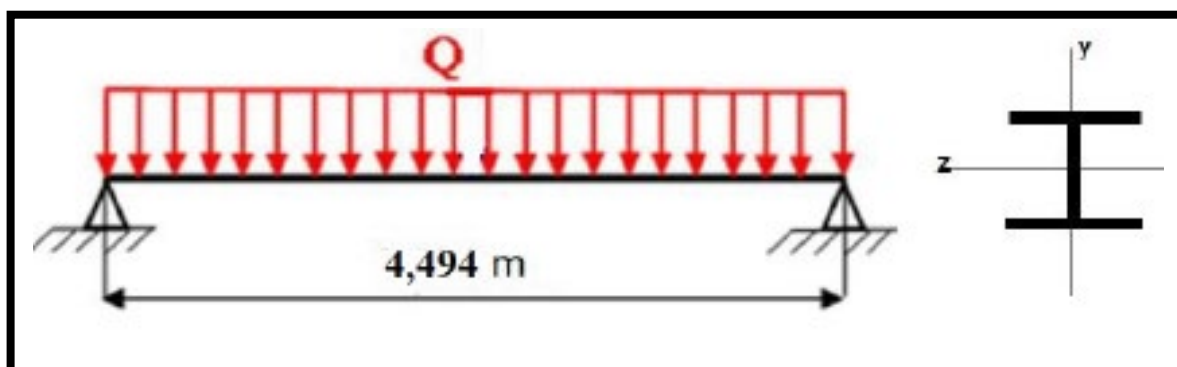


Figure IV.2 : Schéma statique de la panne

- ❖ Pour les pannes A et B et C IPE 180

Comme indiqué sur la figure ci-dessus la panne est chargée par un type de charge, une charge répartie Q

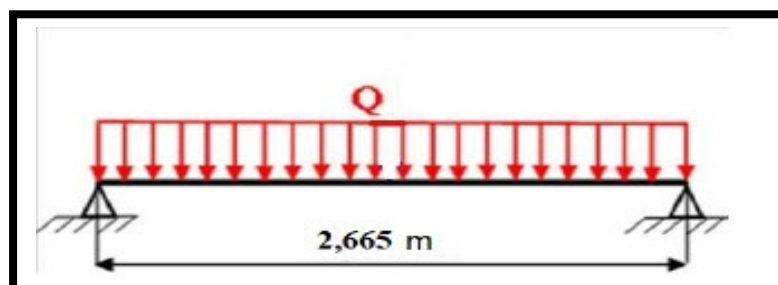


Figure IV.3 : Schéma statique de la panne

3.1. Calcul des charges :

3.1.1. Pour les pannes D et E IPE 220

❖ Charges permanentes G :

- Charge de tôles : $G \text{ tôles} = \rho \times e = 7850 \times 0.006 = 47.1 \text{ daN /m}^2$
- Charge de profil : $G \text{ Profil} = 26.2 \text{ daN /m}$

$$G \text{ permanentes} = G \text{ tôles} + G \text{ Profil} = 47.1 \times 4.5 + 26.2 = 238.15 \text{ daN/m}$$

$$G_p = 238.15 \text{ daN/m}$$

❖ Charges variables Q

• Charge de vent :

$$Q_V = 121.18 \times 4.5 = 445.31 \text{ daN/m}$$

$$Q_V = 851.895 \text{ daN/m}$$

• Charge de Sable :

$$Q_S = 25 \times 4.5 = 112.5 \text{ daN/m}$$

$$Q_S = 112.5 \text{ daN/m}$$

❖ Charge d'Exploitation :

$$Q_{exp} = 100 \text{ daN/m}$$

➤ La combinaison des charges (eurocode3)

L'état limite ultime

$$Q_1 = 1,35 \times G + 1,5 \times (Q_V + Q_S + Q_{exp}) = 1,35 \times 238.15 + 1,5 \times 657.81 = 1458.21 \text{ daN/m .}$$

L'état limite de service

$$Q_2 = G + Q_V + Q_S + Q_{exp} = 238.15 + 445.31 + 112.5 + 100 = 895.96 \text{ daN/m .}$$

3.1.2. Pour les pannes A et B et C IPE 180

❖ Charges permanentes G :

- Charge de tôles : $G \text{ tôles} = \rho \times e = 7850 \times 0.006 = 47.1 \text{ daN /m}^2$
- Charge de profil : $G \text{ Profil} = 18.8 \text{ daN /m}$

$$G \text{ permanentes} = 47.1 \times 4.25 + 18.8 = 218.275 \text{ daN/m}$$

$$G_p = 218.275 \text{ daN/m}$$

❖ Charges variables Q

❖ Charge de vent :

$$Q_V = 121.18 \times 4.25 = 515.015 \text{ daN/m}$$

$$Q_V = 515.015 \text{ daN/m}$$

❖ Charge de Sable :

$$Q_S = 25 \times 4.25 = 106.25 \text{ daN/m}$$

$$Q_S = 106.25 \text{ daN/m}$$

❖ Charge d'Exploitation :

$$Q_{exp} = 100 \text{ daN/m}$$

➤ La combinaison des charges (eurocode3)

L'état limite ultime

$$Q_1 = 1,35 \times G + 1,5 \times (Q_V + Q_S + Q_{exp}) = 1,35 \times 218.275 + 1,5 \times 721.265 = 1376.56 \text{ daN/m .}$$

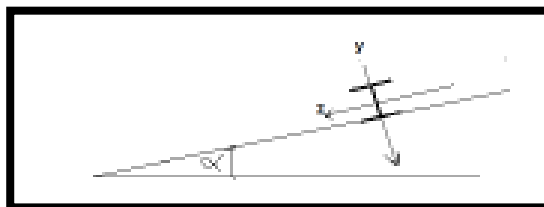
L'état limite de service

$$Q_2 = G + Q_V + Q_S + Q_{exp} = 218.275 + 515,015 + 106.25 + 100 = 939.45 \text{ daN/m .}$$

3.2. Vérification de la flèche :

3.2.1. Pour les pannes D et E IPE 220

$$\frac{5 \times Q \times l^4}{384 \times E \times I_y} \leq \frac{L}{250}$$



$$\delta z = \frac{5 \times Q2 \times \cos\alpha \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{895.96 \times \cos 3.57 \times 4.494^4}{2.1 \cdot 10^{11} \times 2772 \cdot 10^{-8}} = 0.00815 \text{ m}$$

$$fz = \delta z l = 0.815 \text{ cm}$$

$$fz \leq l / 200 = 449.4 / 250 = 1.7976 \text{ cm}$$

donc La condition de la flèche est vérifiée.

3.2.2. Pour les pannes A et B et C IPE 180

$$\frac{5 \times Q \times l^4}{384 \times E \times I_y} \leq \frac{L}{200}$$

$$\delta z = \frac{5 \times Q2 \times \cos\alpha \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{9300.55 \times 2.665^4}{2.1 \cdot 10^{11} \times 1317 \cdot 10^{-8}} = 0.00220 \text{ m}$$

$$fz = \delta z l = 0.220 \text{ cm}$$

$$fz \leq l / 250 = 266.5 / 200 = 1.066 \text{ cm} \text{ donc La condition de la flèche est vérifiée.}$$

3.3. Vérification de la résistance (flexion déviée) :

La vérification de la résistance : (eurocode3)

$$\left(\frac{M_{sdy}}{M_{pl,rdy}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{sdz}}{M_{pl,rdz}} \right)^\beta \leq 1$$

Avec

M sd : moments fléchissant suivant les deux axes

M pl .Rd : le moment de résistance plastique de la section

3.3.1. Pour les pannes D et E IPE 220

Charge suivant les axes :

➤ Suivant z-z' :

$$F = Q \cos\alpha = 1455.37 \text{ daN/m}$$

➤ Suivant y-y' :

$$T = Q \sin\alpha = 90.96 \text{ daN/m}$$

Le moment fléchissant sur l'axe y – y'

La panne est une poutre appuyée sur 2 appuis avec une charge répartie uniformément, donc :

Le moment fléchissant sur l'axe y – y'

$$M_{y,sd} = F \frac{L^2}{8} = 1455,37 \times \frac{4.494^2}{8} = 3674.088 \text{ daN.m}$$

$$M_{y,sd} = 3674,088 \text{ daN.m}$$

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

$$M_{z,sd} = T \frac{L^2}{8} = 90.96 \times \frac{4.494^2}{8}$$

$$M_{z,sd} = 229,62 \text{ daN.m}$$

Calcul de moment de résistance plastique de la section brute par rapport a l'axe $z-z'$

$$M_{pl.z.rd} = W_{pl.z} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{Avec : } f_y = 275 \text{ N/mm}^2 ; \text{ et } W_{pl.z} = 58.1 \text{ cm}^3, \gamma_{M0} = 1.1$$

$$\Rightarrow M_{pl.z.Rd} = 58.1 \times 27,5 / 1,1 = 1452,5 \text{ daN.m}$$

Calcul de moment de résistance plastique de la section brute par rapport a l'axe $y-y'$

$$M_{pl.y.rd} = W_{pl.y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{Avec : } f_y = 275 \text{ N/mm}^2 ; \text{ et } W_{pl.y} = 285 \text{ cm}^3, \gamma_{M0} = 1.1$$

$$\Rightarrow M_{pl.y.Rd} = 285 \times 27,5 / 1,1 = 7125 \text{ daN.m}$$

$$\left(\frac{3674,088}{7125} \right)^2 + \left(\frac{229,62}{1452,5} \right)^1 = 0,42 \leq 1$$

Donc la panne résiste à la flexion bi axiale

3.3.2. Pour les pannes A et B et C IPE 180

Charge suivant les axes :

➤ Suivant $z-z'$:

$$F = Q \cos \alpha = 1362,79 \text{ daN.m}$$

➤ Suivant $y-y'$:

$$T = Q \sin \alpha = 82,59 \text{ daN.m}$$

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

La panne est une poutre appuyée sur 2 appuis avec une charge répartie uniformément, donc :

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

$$M_{y,sd} = F \frac{L^2}{8} = 1362,79 \times \frac{2.665^2}{8}$$

$$M_{y,sd} = 1209.85 \text{ daN.m}$$

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

$$M_{z,sd} = T \frac{L^2}{8} = 82.59 \times \frac{2.665^2}{8}$$

$$M_{z,sd} = 73,32 \text{ daN.m}$$

Calcul de moment de résistance plastique de la section brute par rapport a l'axe $z-z'$

$$M_{pl.z.rd} = W_{pl.z} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{Avec : } f_y = 275 \text{ N/mm}^2 ; \text{ et } W_{pl.z} = 34.6 \text{ cm}^3, \gamma_{M0} = 1.1$$

$$\Rightarrow M_{pl.z.Rd} = 34.6 \times 27,5 / 1,1 = 865 \text{ daN.m}$$

Calcul de moment de résistance plastique de la section brute par rapport a l'axe $y-y'$

$$M_{pl.y.rd} = W_{pl.y} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{Avec : } f_y = 275 \text{ N/mm}^2 ; \text{ et } W_{pl.y} = 166 \text{ cm}^3, \gamma_{M0} = 1.1$$

$$\Rightarrow M_{pl.y.Rd} = 166 \times 27,5 / 1,1 = 4150 \text{ daN.m}$$

$$\left(\frac{1209,85}{4150}\right)^2 + \left(\frac{73,32}{865}\right)^1 = 0,16 \leq 1$$

Donc la panne résiste à la flexion bi axiale

4. Calcul des chevrons:

Les chevrons sont boulonnées, avec le poteau central avec les poteaux secondaires et avec la robe Il est soumis a son poids propre et a la réaction des pannes.

On utilise l'EUROCODE 3 pour calcul :

Pour déterminer le profile convenable on choisit le chevron le plus sollicitée. On choisit un HEB 280, ces caractéristiques sont :

$I_y = 19270 \text{ cm}^4$ $I_z = 6595 \text{ cm}^4$ $W_{pl y} = 1534 \text{ cm}^3$ $W_{pl z} = 718 \text{ cm}^3$ $P_p = 103.1 \text{ kg/ml}$

Résolution de système

Comme indiqué sur la figure ci-contre le chevron est chargé par deux types de charge, une charge répartie q et deux charges concentrées. Pour résoudre ce problème on utilise la méthode de superposition.

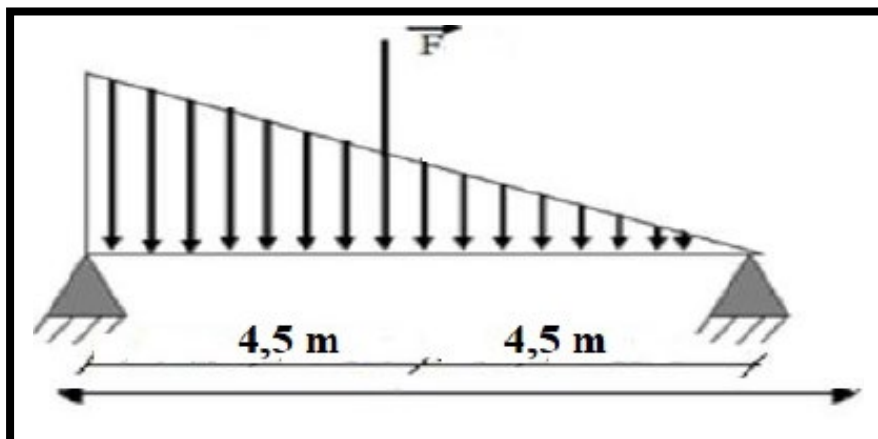


Figure IV.4 :Schéma statique de chevron

4.1.Calcul des Charges :

1^{er} système

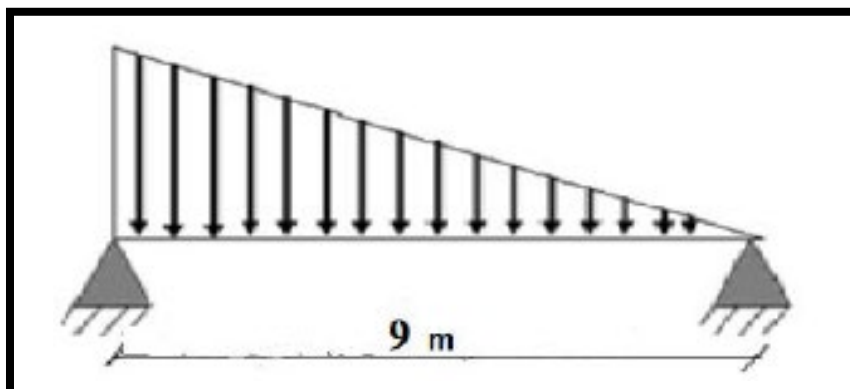


Figure IV.5 : Schéma statique de 1er système du chevron

❖ Charges permanentes G :

- Charge de tôles : $G_{\text{tôles}} = \rho \times e = 7850 \times 0.006 = 47.1 \text{ daN/m}^2$
- Charge de profil : $G_{\text{profil}} = 103,1 \text{ daN/m}$

$$G_{\text{permanentes}} = 47.1 \times 4.494 + 103,1 = 314.76 \text{ daN/m}$$

$$G_p = 314.76 \text{ daN/m}$$

❖ Charges variables Q

- Charge de vent :

$$Q_V = 121,18 \times 4.494 = 544,58 \text{ daN/m}$$

$$Q_V = 544,58 \text{ daN/m}$$

- Charge de Sable :

$$Q_s = 25 \times 4.494 = 112.35 \text{ daN/m}$$

$$Q_s = 112.35 \text{ daN/m}$$

❖ Charge d'Exploitation :

$$Q_{\text{exp}} = 100 \text{ daN/m}$$

- La combinaison des charges (eurocode3)

L'état limite ultime

$$Q_1 = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot (Q_v + Q_s + Q_{\text{exp}}) = 1560,32 \text{ daN/m} \text{ . L'état limite de service}$$

$$Q_2 = G + Q_v + Q_n + Q_{\text{exp}} = 1071,69 \text{ daN/m}$$

2^{ème} système

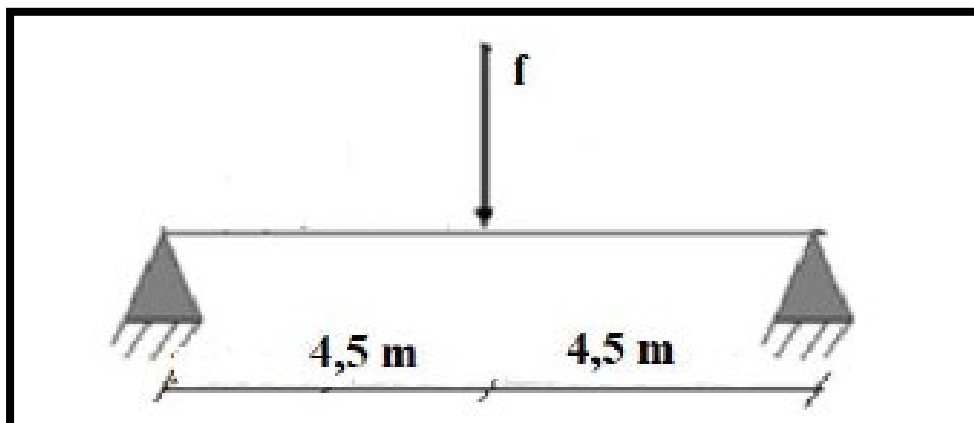


Figure IV.6 : Schéma statique de 2^{ème} système du chevron

$$F = Gp \times L$$

Avec :

L : longueur de l'entretoise

Gp : La masse par mètre linéaire de l'entretoise.

$$F = 117.47 \text{ daN}$$

4.2. Vérification de la flèche :

$$\text{Pour le 1er système} \quad \frac{5 \times Q \times l^4}{384 \times E \times I_y} \leq \frac{L}{250}$$

$$\text{Pour le 2eme système} \quad \frac{F \times l^4}{48 \times E \times I_y} \leq \frac{L}{250}$$

1er système

$$\delta z = \frac{5 \times Q2 \times \cos\alpha \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10609,73 \times 9^4}{2,1 \cdot 10^{11} \times 19270 \cdot 10^{-8}} = 0.022 \text{ m}$$

2ème système

$$\delta z = \frac{Fz \times \cos\alpha \times L^3}{48 \times E \times I_y} = \frac{1}{48} \cdot \frac{1165,62 \times 9^3}{2,1 \cdot 10^{11} \times 19270 \cdot 10^{-8}} = 0,000437$$

- **La flèche de chevron :**

$$f_z = \delta z1 + \delta z2 = 2,2 + 0.0437 = 2,2437 \text{ cm}$$

$$f_z \leq l / 250 = 900 / 200 = 3,6 \text{ cm} \quad \text{donc La condition de la flèche est vérifiée.}$$

4.3. Vérification de la résistance (flexion déviée) :

La vérification de la résistance : (eurocode3)

$$\left(\frac{M_{sdy}}{M_{pl,rdy}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{sdz}}{M_{pl,rdz}} \right)^\beta \leq 1$$

Avec

M sd : moments fléchissant suivant les deux axes

M pl .Rd : le moment de résistance plastique de la section

1^{er} système

Charge suivant les axes :

➤ Suivant z-z' :

$$F = Q \cos\alpha = 1544,71 \text{ daN.m}$$

➤ Suivant y-y' :

$$T = Q \sin\alpha = 93,61 \text{ daN.m}$$

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

La panne est une poutre appuyée sur 2 appuis avec une charge répartie uniformément, donc :

Le moment fléchissant sur l'axe y – y'

$$M_{y,sd} = F \frac{L^2}{8} = 1544,71 \times \frac{9^2}{8}$$

$$M_{y,sd} = 15640,18 \text{ daN.m}$$

Le moment fléchissant sur l'axe z – z'

$$M_{z,sd} = T \frac{L^2}{8} = 93,61 \times \frac{9^2}{8}$$

$$M_{z,sd} = 947,80 \text{ daN.m}$$

$$M_{y,sd} = 15640,18 \text{ daN.m}$$

$$M_{z,sd} = 947,80 \text{ daN.m}$$

2^{ème} système

La panne est une poutre appuyée sur 2 appuis avec une charge concentrée au milieu de la panne, donc :

➤ Suivant y-y' :

$$F_y = F \sin\alpha = 117,74 \sin 3,5 = 7,34 \text{ daN}$$

➤ Suivant z-z'

$$F_z = F \cos\alpha = 295,4 \cos 3,5 = 117,5 \text{ daN}$$

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

$$M_{fy} = F_z \frac{L}{4} = 117,5 \times \frac{9}{4} = 264,39 \text{ daN.m}$$

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

$$M_{fz} = F_y \frac{L}{4} = 7,34 \times \frac{9}{4} = 16,51 \text{ daN.m}$$

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

$$M_y = M_{y,sd} + M_{fy} = 15640,18 + 264,39 = 15904,57 \text{ daN.m}$$

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

$$M_z = M_{z,sd} + M_{fz} = 947.8 + 16.51 = 964,31 \text{ daN.m}$$

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

$$M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} \times f_y / \gamma_{M0}$$

Avec $W_{plz} = 718 \text{ cm}^3$ $f_y = 27.5 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{M0} = 1.1$

⇒

$$M_{pl,z,Rd} = 718 \times \frac{27.5}{1.1} = 17950 \text{ daN.m}$$

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

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M0}$$

Avec $W_{ply} = 1534 \text{ cm}^3$ $f_y = 27.5 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{M0} = 1.1$

⇒

$$M_{pl,y,Rd} = 1534 \times \frac{27.5}{1.1} = 38350 \text{ daN.m}$$

Alors

$$\left(\frac{15640,18}{38350}\right)^2 + \left(\frac{947,80}{17950}\right)^1 = 0,21 \leq 1$$

Donc la panne résiste à la flexion bi axiale

4.4. Vérification le résistance de chevron au déversement:

A cause de la sollicitation de chevron (flexion), il y a le risque de déversement, donc la vérification de ce phénomène est nécessaire.

Pour que chevron résiste au diversement, on vérifie la formule suivante :

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

$$M_{y,sd} \leq \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$\beta_w = 1$: (la section de profile de classe 1). (eurocode3 P177)

χ_{LT} : coefficient de réduction pour le diversement

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + (\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT})^{0.5}} < 1$$

Avec

Profile laminé => $\alpha = 0.21$ donc la courbe

$\overline{\lambda}_{LT}$: l'élanement géométrique

$$\overline{\lambda}_{LT} = [\beta_w \times W_{pl,y} \times f_y / M_{cr}]^{0.5}$$

M_{cr} : moment critique (eurocode3P417)

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{l^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{l^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} \right]^{0.5}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

C1 et C2 facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement (selon l'eurocode 3 annexe

f-2 C1= 1.323

$$E = 2,1 \cdot 10^7 \text{ N/cm}^2$$

$$I_z = 6595 \text{ cm}^4$$

$$G = 8,07 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$$

$$t_f = 1.8 \text{ cm}$$

$$L = L/2 = 4.25 \text{ m}$$

$$h = 28 \text{ cm}$$

$$I_w = I_z \left(\frac{h - t_f}{2} \right)^2 = 1131767.95 \text{ cm}^6$$

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{l^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{l^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} \right]^{0.5} = 12,5 \cdot 10^7 \text{ N.cm}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = [1 \times 1534 \times 27500 / 12,5 \cdot 10^7]^{0.5} = 0,3$$

$$\phi_{LT} = 0,56$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,56 + (0,56^2 - 0,33^2)^{0.5}} = 0,98$$

$$\text{D'où } M_{pl,Rd} = \frac{1 \times 0,98 \times 1,534 \times 27500}{1,1} = 37583000 \text{ N.cm}$$

$$M_{y,sd} = 20411,19 \text{ daN.m} = 20411190 \text{ N.cm}$$

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

Donc le chevron résiste à la flexion.

5. Etude des poteaux :

5.1. Calcul du poteau central:

On va dimensionner le poteau central. On admet que le poteau central va supporter une partie de des charges provenant du toit (voir figure suivante).

On va choisir une section : tube

D'après memotech page93 on a :

la longueur de poteau centrale :

$\varnothing = 273\text{mm}$; $t=8\text{mm}$; $P=52.3\text{kg/m}$; $A=66.6\text{cm}^2$; $i=9.37$

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

$L_{robe} = 18.86\text{ m}$

$L_t = 1.625\text{ m} \rightarrow L_{pc} = 20.48\text{ m}$

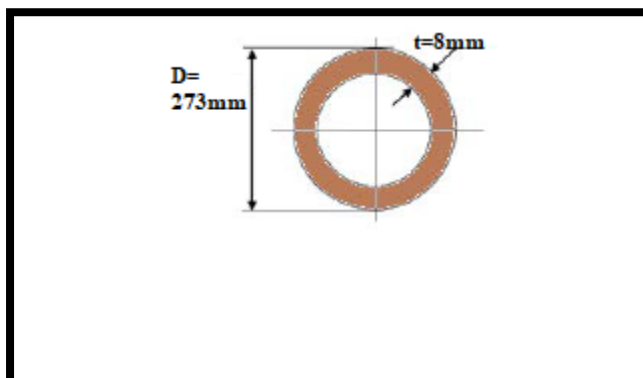


Figure IV.7 : section poteau central

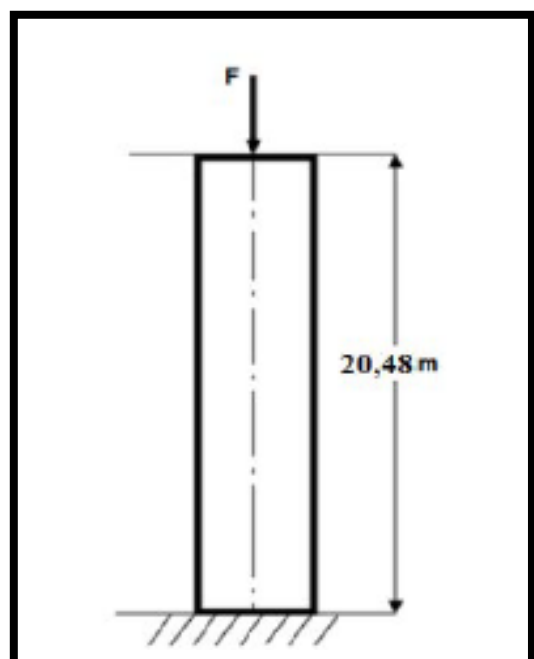


Figure IV.8 : Vue en plan de poteau central

la surface sollicitée :

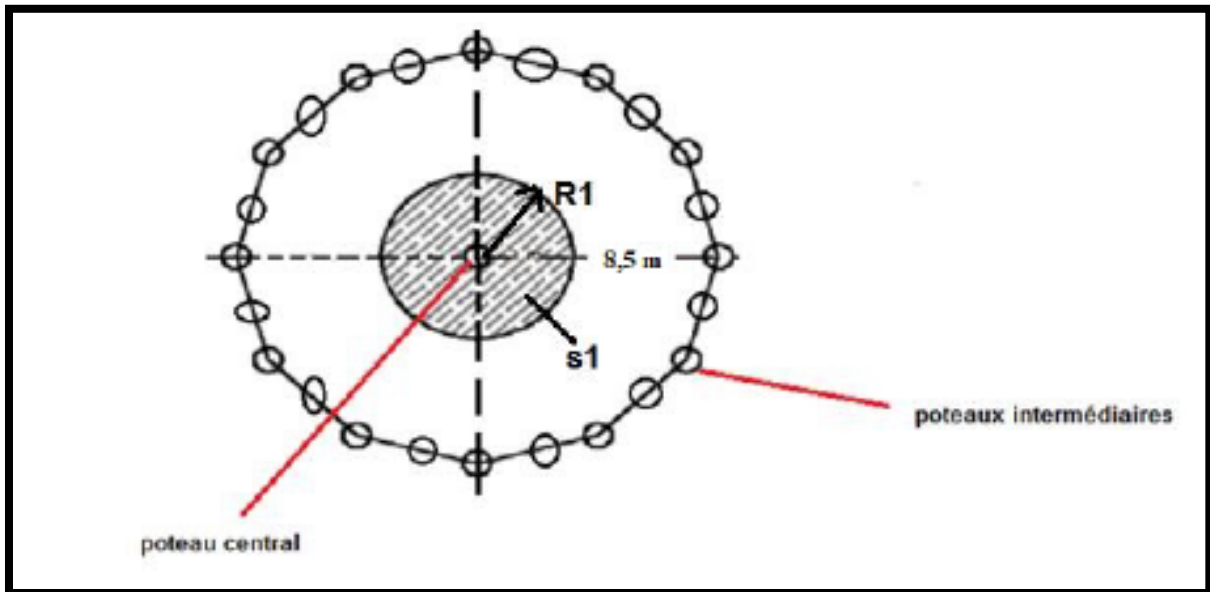


Figure IV.9 : Surface supportée par le poteau central

$$L' = 18.86 + 1.093 = 19.95 \text{ m} \quad L'' = 18.86 + 0.5625 = 19.42 \text{ m}$$

$$S = \pi \times R^2 = \pi \times 4,25^2 = 56,74 \text{ m}^2$$

R1 : le rayon de la surface supportée par le poteau central (la longueur de chevron 1)

5.1.1. Calcul des charges :

Réaction de la couverture :

$$P_c = \rho \times e \times S = 7850 \times 0.006 \times 56.74 = 26726.90 \text{ daN}$$

$$P_c = 26726.90 \text{ daN}$$

$$R_c = 26726 \text{ daN}$$

La réaction des entretoises: on a 24 entretoises

$$P_p = 18.8 \text{ daN/m}$$

$$L \text{ entretoise} = 0.88 \text{ m}$$

$$R \text{ entretoise} = 30 \times 18.8 \times 0.88 = 496.32 \text{ daN}$$

R entretoise= 496.32 daN

Les réactions des chevrons : on a 30 chevrons

P chevrons= N chevrons30 PP

AN :

P chevrons = 30× 103.1 =3093 daN/m

Rch= Pch Ls

Avec Ls : la longueur de chevron supporte par le poteau.

AN: Rch = 3093×4.25= 13145.25 daN

Rch= 13145.25 daN

Réaction du vent:

Rv=Qv .S sollicité= 121.18×56.74 = 6876.01 daN

Rv= 6876.01 daN

Réaction de Sable :

Rs =Qs .S sollicité= 25×56.74= 1418.5 daN

Rs = 1418.5 daN

Charge d'exploitation: Rexp= 200 daN

- Classe de section:

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

D/t ≤ 50ε2= 42.5 classe I

D/t ≤ 70ε2= 59.5 classe II

D/t ≤ 90ε2= 76.5 classe III

- D/t = 273 / 8 = 34.125 ≤ 50ε2 Donc la section de classe I

❖ Calcul de la force de compression sur les poteaux :

$$F = \frac{R_c + R_e + R_v + R_{ch} + R_{sk} + R_{ex}}{N_{poteaux}}$$

Nombre des poteaux:

N Poteaux = N poteaux central = 1

$$F = \frac{267.2 + 4.96 + 131.45 + 68.76 + 14.18 + 2}{N_{poteaux}} = 48861 \text{ daN}$$

F= 48861 daN.

5.1.2. Vérification de la compression :

$$\sigma \leq \frac{F}{A} \leq \sigma_e$$

Avec : F = 48861 daN.

$$A = 6660 \text{ mm}^2$$

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

⇒ $\sigma = F / A = 73.36 \text{ MPA} < \sigma_e$ Donc: le poteau central résiste à la compression

5.1.3. Vérification au flambement :

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

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

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

Avec : $\gamma_{M1} = 1.1$

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

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

$$A = 66.6 \text{ cm}^2$$

$$i = 9.37 \text{ cm}$$

$$L_y(\text{flambement}) = 0.7 * L_y(\text{poteau}) = 0.7 * 20.48 = 1433.6 \text{ cm}$$

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

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

Avec :

α est un facteur d'imperfection

$\bar{\lambda}$ est : l'élanement pour le mode de flambement considéré

$$\lambda = \frac{L_y (\text{flambement})}{i_y} = \frac{1433.6}{9.37} = 152.99$$

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

$$\lambda_1 = 86.39$$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{152.99}{86.39} \right) [1]^{0.5} = 1.77$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = 0.5[1 + 0.21(1.77 - 0.2) + 1.77] = 2.23$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda})^{0.5}} = \frac{1}{3.58} = 0.27$$

$$Nb, Rd = \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.27 \times 1 \times 6660 \times 27.5}{1.1} = 49450.5 \text{ daN}$$

Nsd.y=F force de compression = 48861 daN .

Nsd.y ≤ Nb.Rd.y , Le raidisseur résiste au flambement.

5.2. Les poteaux intermédiaires :

Φ=219.1mm ; t=5mm ; A=33.6cm² ; i=7.57cm ; P=26.4 kg/m σe=275Mpa

La longueur de poteau:

$$L_p=19.95 \text{ m}$$

La surface sollicitée : St=π R²

$$St = 3.14 (12.75)^2 = 510.70 \text{ m}^2$$

$$S_0 = \pi R_0^2 = \pi \cdot 4.25^2 = 56.74 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{sollicité}} = St - S_0 = 453.96 \text{ m}^2$$

5.2.1. Calcul des charges :

Réaction de couverture :

$$P_c = \rho \times e \times S = 7850 \times 0.006 \times 453.96 = 21381.51 \text{ daN}$$

Réaction des entretoises : Pp1=10.4 daN/m Pp2=18.8 kg /ml

On a 30 entretoises de 1.77m(IPE180) Et 30 de 0.88(IPE180) et 30 entretoises de 2.66m(IPE220).

La longueur totale des entretoises :

$$L_{\text{entretoises IPE180}} = 30(1.77) + 30(0.88) + 30(2.66) = 159.3 \text{ m}$$

$$L_{\text{IPE}} = 159.3 \text{ m}$$

Donc :

$$R_{\text{entretoises}} = 2994.84 \text{ daN}$$

Réactions des chevrons : $P_p = 103.1 \text{ kg/m}$, On a 30 chevrons de 8.5m

$$L_{\text{ch}} = 30(8.5) = 255 \text{ m}$$

$$R_{\text{Chevrons}} = 255 (103.1) = 26290.5 \text{ daN}$$

$$\text{Donc : } R_{\text{charpent}} = P_c + R_{\text{ch}} + R_e = 21381.51 + 2994.84 + 2629.05 = 50666.85 \text{ daN}$$

Réaction du vent:

$$R_v = Q_v S_{\text{sollicité}} = 121.18 \times 453.96 = 55010.87 \text{ daN}$$

$$R_v = 55010.87 \text{ daN}$$

Réaction de la Sable :

$$P_s = Q_s S_{\text{sollicité}} = 25 \times 453.96 = 55010.87 \text{ daN}$$

$$R_s = 55010.87 \text{ daN}$$

Charge d'exploitation:

$$R_{\text{exp}} = 200 \text{ daN}$$

- Classe de section:

$$\varepsilon^2 = \frac{275}{f_{\mu}} = 0.85 \quad (\text{eurocode3 P5-41})$$

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

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

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

- $D/t = 219.1 / 5 = 43.8 \leq 50\varepsilon^2$ Donc la section de classe I

- ❖ Calcul de la force de compression sur les poteaux :

$$N_{\text{poteaux}} : 30$$

$$F = \frac{R_c + R_e + R_v + R_{ch} + R_{sk} + R_{ex}}{N_{poteaux}}$$

$$F = 3907.55 \text{ daN}$$

5.2.2. Vérification de la compression :

$$\sigma \leq \frac{F}{A} \leq \sigma_e$$

Avec : $F = 3907.55 \text{ daN}$.

$$A = 33.6 \text{ cm}^2$$

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

$\Rightarrow \sigma = F / A = 11.62 \text{ MPA} < \sigma_e$ Donc: le poteau intermédiaire résiste à la compression

5.2.3. Vérification du flambement :

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

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

$$\gamma_{M1} = 1.1$$

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

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

$$A = 33.6 \text{ cm}^2$$

$$i = 7.57 \text{ cm}$$

$$L_y(\text{flambement}) = 0.7 \cdot L_y(\text{poteau}) = 0.7 \cdot 19.95 = 13.965 \text{ m}$$

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

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

Avec :

α est un facteur d'imperfection

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

$$\lambda = \frac{L_y(\text{flambement})}{i_y} = \frac{13.965}{7.57} = 184.47$$

$$\lambda_1 = 93.9\varepsilon \quad \varepsilon = \sqrt{(235/f_y)} = 0.92$$

$$\lambda_1 = 86.39$$

$$\lambda_1 = (184.47/86.39) [1]^{0.5} = 2.13$$

$$\alpha = 0.21$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda_1 - 0.2) + \lambda_1^2] = 0.5[1 + 0.21(2.13 - 0.2) + 2.13^2] = 2.97$$

$$\chi = 1/(\phi + [(\phi^2 - (\lambda_1)^2)]^{0.5}) = 1/(2.97 + [(2.97^2 - (2.13)^2)]^{0.5}) = 0.19$$

$$N_{b,Rd} = (\chi \times \beta_A \times A \times f_y) / \gamma_{M1} = 0.19 \times 1 \times 3360 \times 27.5 / 1.1 = 15960 \text{ daN}$$

$$N_{sd,y} = F \text{ force de compression} = 3907.55 \text{ daN}$$

$N_{sd,y} = 3907.55 \text{ daN} \leq N_{b,Rd,y} = 15960 \text{ daN}$, Le raidisseur résiste au flambement.

6. Conclusion :

Après le dimensionnement des éléments de toit et puis la vérification des contraintes et de la flèche on peut conclure que le toit fonctionne dans les bonnes conditions.

Les charpentes à poteaux sont reconnues comme des structures économiques car leur conception permet un montage simple sur les sites. Ce type de charpente peut être employé sur le plus grand réservoir, il n'est limité par son diamètre car il est toujours possible pour l'agrandir d'ajouter une rangée supplémentaire de poteaux, de pannes et de chevrons.

CHAPITRE V :

Stabilité de réservoir

1- Stabilité de la robe :**1-1-Cornière de rive :**

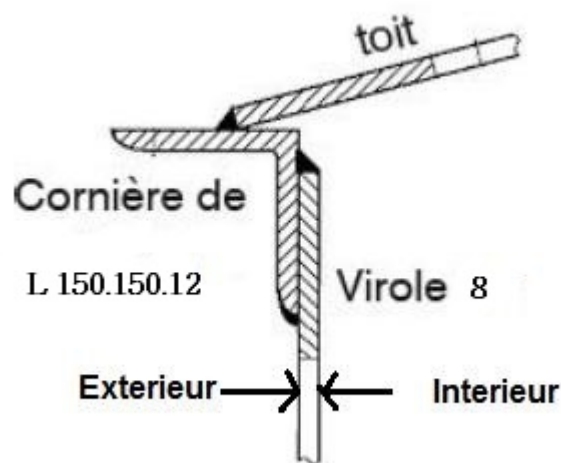
Afin d'assurer un bon assemblage entre le toit et la robe il est nécessaire de mettre un élément intermédiaire qui regroupe les deux structures (toit et robe), les dimensions de ce dernier est données par la norme API 650 std par la formule suivante :

$$S_m = \frac{D \times R}{1500} \approx \frac{D^2}{1500}$$

$$D = 52 \text{ m} = 2062,49 \text{ pd.}$$

$$S_m = \frac{2062,49^2}{1500} = 38,21 \text{ inch}^2 = 24,5 \text{ cm}^2.$$

De mémotech la cornière de rive est **L 150X12**.



Figure(V.1) : cornière de rive

1-2-Calcul de la poutre au vent:

1-2-1-Introduction :

Les réservoirs à toit fixe devront être pourvus d'anneaux raidisseurs destinés à maintenir la forme circulaire lorsque le réservoir est soumis aux efforts du vent. Les anneaux raidisseurs devront être placés au sommet ou au voisinage du sommet de la virole supérieure et de préférence à l'extérieur de la robe. L'épaisseur nominale minimum de la tôle utilisée pour les anneaux raidisseurs formés ou reconstitués devra être de 6,35mm. Et pour les anneaux raidisseurs utilisé comme passage, devra avoir une largeur au mois ou égale à 609,6mm de la cornière de bordure en porte à faux au sommet de la robe ; il devra être situé de préférence à 76,2 – 152,4mm au-dessous du sommet de la cornière de rive.

1-2-2-Conception de la poutre au vent :

L'épaisseur nominal minimal de la tôle utilisée pour les anneaux raidisseurs formés ou reconstitués devra être de 6.35mm, et pour les anneaux raidisseurs utilisé comme passage, devra avoir une largeur au mois égale à 609.6mm au de la cornière de bordure en poutre à faux au sommet de la robe ; il devra être situé de préférence à 76.2 - 152.4 mm du coté non protégé et aux extrémités de la partie servant de passage.

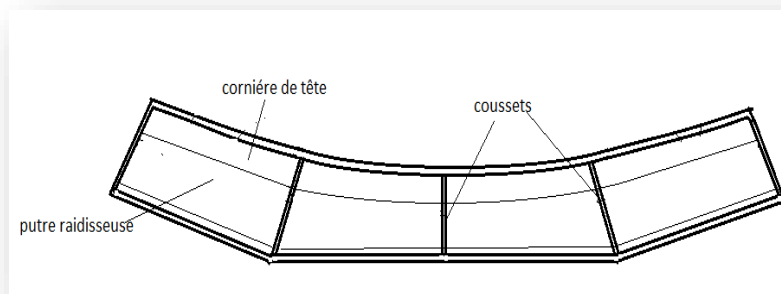


Figure (V.2) : Poutre au vent-vue de dessus

1-2-3-Moment résistant exigé :

Le moment résistant minimum exigé pour l'anneau raidisseur devra être déterminé

par l'équation suivante : $Z = 0,0001.D^2.H.\left(\frac{V}{120}\right)^2$. (API650)

Z = Module de section, en Pce cubes.

D : Diamètre nominale du réservoir = 52m = 170,59 Pied

H : Hauteur de robe, en Pieds = 18,86m = 61,87 Pieds

V : vitesse du vent = 160 km/h = 99,42 mille/h

AN:

$$Z = 0,0001. (170,59)^2. 61,87. (99,42/120)^2$$

Donc :

$$Z = 123,58 \text{ Pouce}^3 = 2025,17 \text{ cm}^3.$$

La poutre au vent doit vérifier la condition suivante :

$$W=I/X_G > Z$$

Tel que :

$$\left\{ \begin{array}{l} I : \text{moment d'inertie de la section choisie} \\ X_G : \text{la distance au centre de gravité.} \end{array} \right.$$

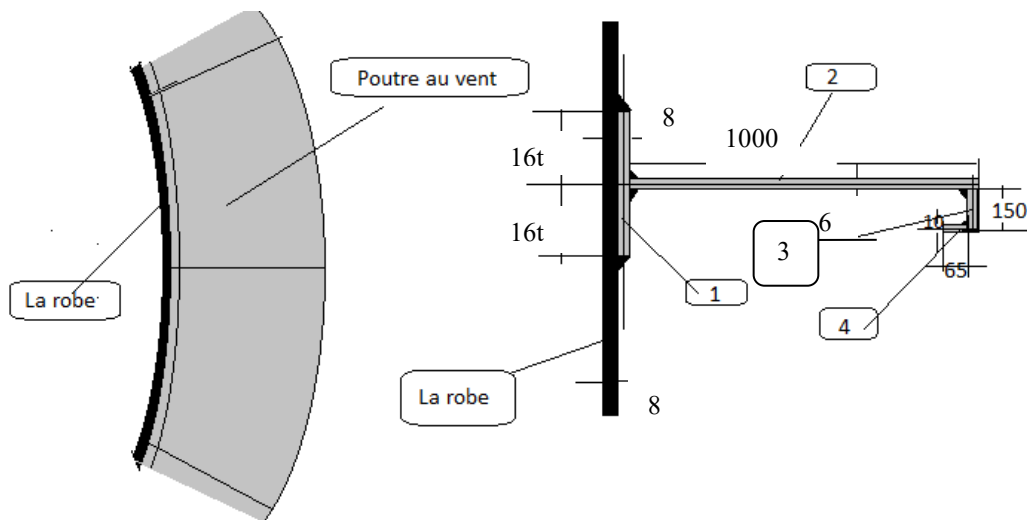


Figure (V.3) : Poutre raidisseuse

- **Données de calcul**

Section 1 : $S_1 = 54,66 \cdot 0,8 = 43,72 \text{ cm}^2$.

$X_1 = 0,4 \text{ cm}$.

$I_1 = 1,72 \text{ cm}^4$.

Section 2 : $S_2 = 100 \cdot 0,8 = 80 \text{ cm}^2$

$X_2 = 50,8 \text{ cm}$.

$I_2 = 66666,66 \text{ cm}^4$.

Section 3 : $S_3 = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ cm}^2$

$X_3 = 107,8 \text{ cm}$.

$I_3 = 0,64 \text{ cm}^4$

Section 4 : $S_4 = 6,5 \cdot 0,8 = 5,2 \text{ cm}^2$
 $X_4 = 97,55 \text{ cm.}$
 $I_4 = 18,30 \text{ cm}^4$

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^3 X_i S_i}{\sum_{i=1}^3 S_i}$$

AN:

$$X_G = \frac{X_1 S_1 + X_2 S_2 + X_3 S_3 + X_4 S_4}{S_t} = \frac{(43,72 \cdot 0,4) + (80 \cdot 50,8) + (12 \cdot 107,8) + (5,2 \cdot 97,55)}{43,72 + 80 + 12 + 5,2}$$

$X_G = 41,74 \text{ cm}$

Et on a :

$$I_y = I_{y1} + I_{y2} + I_{y3} + I_{y4}$$

Tel que :

$$I_{y1} = I_1 + S_1(X_1 - X_G)^2 = 74718,007 \text{ cm}^4$$

$$I_{y2} = I_2 + S_2(X_2 - X_G)^2 = 73233,34 \text{ cm}^4$$

$$I_{y3} = I_3 + S_3(X_3 - X_G)^2 = 52367,72 \text{ cm}^4$$

$$I_{y4} = I_4 + S_4(X_4 - X_G)^2 = 16215,03 \text{ cm}^4$$

$I_y = 216535 \text{ cm}^4$

Donc $W = \frac{I}{X_G} = \frac{216535}{41,74} = 5187,7 \text{ cm}^3 > 2025,17 \text{ cm}^3$

$W = 5187,7 \text{ cm}^3 > Z = 2025,17 \text{ cm}^3$

la poutre au vent choisie vérifier la condition

1-3-Stabilité de la robe sous le vent :

1-3-1-Calcul de la hauteur maximale de la robe non raidie (H_{max}) : Selon

API 650 (3. 9. 7. 1.) on a :

$$H_{max1} = 9.47 \cdot t \cdot \sqrt{(t/D)^3} \cdot (190/V)^2$$

Avec :

t : Epaisseur de la dernière virole = 0,315 Pce = 8mm.

D : Diamètre du réservoir = 52m = 170,59 Pied.

V : Vitesse du vent = 160 km/h = 99,42 mille/h.

Donc : $H_{1 \max} = 6446,69\text{mm} = 21,14 \text{ Pieds} .$

1-3-2-Calcul de la hauteur transformée de la robe (H_{tr}) :

Selon API 650 (3. 9. 7. 2.) $H_{tr} = \sum H_{tr(i)} ; i=1 ; 8$

Tel que :

$$H_{tr} = W_i \cdot \sqrt{[t(\text{uniforme}) / t(\text{actuel})]^5}$$

Avec :

- W_i : largeur de la virole transformée.
- $H_{tr(i)}$: largeur transformée de la robe.
- t (uniforme) : épaisseur de la dernière virole.
- t (actuel) : épaisseur de la virole transformée.

Tableau(V.1) :Les valeurs de la largeur transformée de la robe $H_{tr(i)}$.

Virole	t actuel mm	t uniforme mm	W _i mm	H _{tr(i)} mm
V ₁	24	8	2420	155,24
V ₂	22	8	2420	192,96
V ₃	19	8	2420	278,39
V ₄	15	8	2420	502,70
V ₅	12	8	2420	878,18
V ₆	10	8	2420	1385,28
V ₇	8	8	2420	2420
V ₈	8	8	2420	2420
$H_{tr} = \sum H_{tr(i)}$ avec: $i=1 ; 8$				8232,75

D’ou : $H_{tr} = 8232,75 \text{ mm}$

$H_{tr} > H_{1 \max} \Rightarrow$ la robe nécessite une poutre au vent intermédiaire

1-3-3-Position de la poutre au vent intermédiaire sur robe:

API650 .P 64

$$H_1 = 600000t \left(\frac{120}{V}\right)^2 \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3}$$

- H_1 : La distance vertical, entre la poutre intermédiaire du vent et la cornière de rive.
- t : épaisseur transformée.
- $D = 52 \text{ m} = 170,59 \text{ Pds}$

$$V = 160 \text{ km/h} = 99.42 \text{ mph}$$

Tel que :

$$H_{tr} = W_i (t_{\text{uniforme}}/t)^{5/2} \rightarrow t = t_{\text{uniforme}} (2W_i/H_{tr})^{2/5}$$

$$\text{D'où : } t = 8(2.2420/8232,75)^{2/5}$$

$$t = 6,46 \text{ mm} = 0,25 \text{ pouce}$$

Donc :

$$H_1 = 12,25 \text{ pds} = 3652,16 \text{ mm} ; \text{ On adopte : } H_1 = 3600 \text{ mm} = 3,6 \text{ m}$$

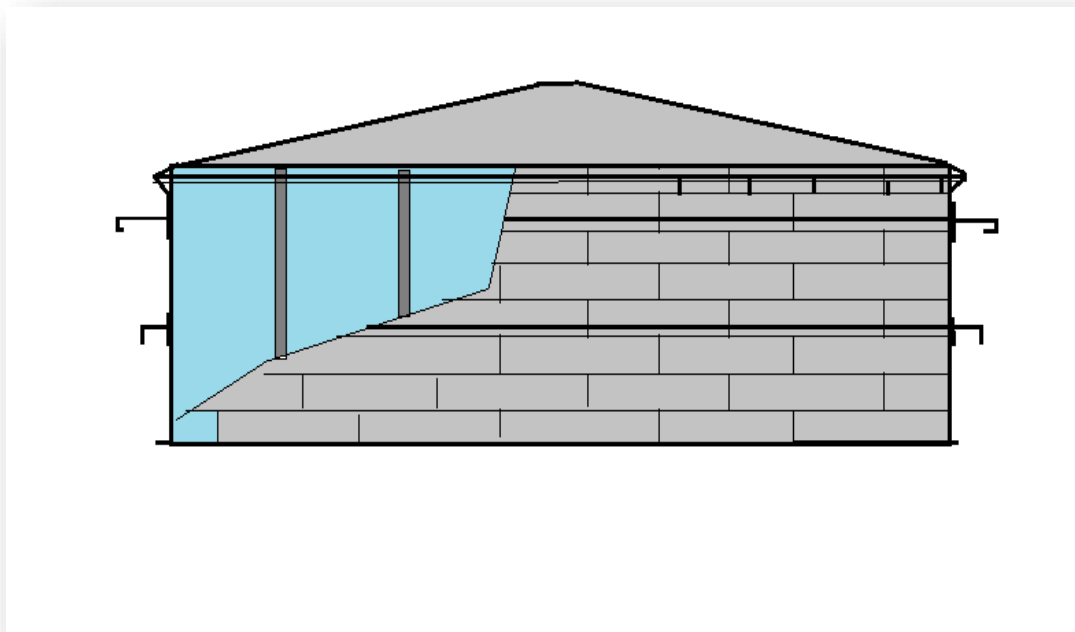


Figure (V.4) : Position de la poutre au vent et Poutre raidisseuse intermédiaire sur robe

1-4-Calcul de la poutre au vent intermédiaire:

Le module d'inertie minimal requis de la section (raidisseur intermédiaire) est donné par la formule suivant :

$$Z = 0,0001.D^2.H_1.(V/120)^2$$

Avec :

D : diamètre de réservoir= 52 m = 170,59 Pds

H₁ : distance entre le raidisseur intermédiaire et de cornière de rive= 12,25pds

V : la vitesse du vent= 99,42mph

$$Z = 24,46 \text{ Pce}^3 = 400,98 \text{ cm}^3$$

La poutre au vent intermédiaire doit vérifier la condition suivant :

$$W = I / X_G > Z$$

Où :

$$\begin{cases} I : \text{Mome... ..tie de la section choisie} & \mathbf{I = I_1 + I_2 + I_3} \\ X_G : \text{La distance au centre de gravité} & \mathbf{X_G = \frac{\sum XiSi}{\sum Si} \quad i=1 ;3} \end{cases}$$

Tableau(V.2) :les valeurs de moment d’inertie de la section et la distance au centre de gravité (I et X_G)

Le section cm ²	La distance au centre de gravité (cm)	Moment d’inertie de la section (cm ⁴)
S ₁ =43.02	X ₁ =4.25+1.2=5.45	I ₁ =1539.08
S ₂ =43.02	X ₂ =(154,25)+15+1.2=26.95	I ₂ =14284.69
S ₃ =(32t+b)t=64.08	X ₃ =0.6	I ₃ =4869.06
La section total	X_G=9.31	I=20692.82

$$W = I / X_G = 2222.64 \text{ cm}^3 > 400,98 \text{ cm}^3$$

$$W > Z$$

Donc la poutre au vent intermédiaire choisi est vérifiée.

1-5-Stabilité de Réservoir :

Afin d'assuré la stabilité de réservoir il faut vérifier deux directions principales:

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

2- Stabilité du réservoir au vent :

Les moments de reversement global M_R dû la pression du vent sur le réservoir doit satisfaire la relation suivant :

$$M_R \leq \frac{W \times D}{3}$$

M_R : moment de reversement global.

$\frac{W \times D}{3}$: Moment de résistant du réservoir.

2-1- calculs du moment de reversement global :

$$M_R = M_{Robe} = F \times d$$

Avec:

Pour une direction du vent donnant au coefficient C_t, l’action d’ensemble

normale au réservoir est déterminée par l'expression suivant :

$$F=Q_n \times S \times C_t$$

Le cas le plus défavorable, lorsque le réservoir est vide ou moitié remplis (chapitre II)

Dans ce cas :

$$\text{Coefficient } C_t = 0.423$$

$$\text{L'action du vent } Q_n = 250,81 \text{ daN /m}^2$$

Avec : Surface projetée (plan perpendiculaire a la direction du vent) :

$$S = D \times H$$

$$S = 980.72 \text{ m}^2$$

$$F = 250,81 \times 0,423 \times 980,72 = 104047,16 \text{ daN}$$

$$F = 104047,16 \text{ daN}$$

$$M_R = 104047,16 \times 14.46 / 2 = 752260,966 \text{ daN.m}$$

$$M_R = 752260,966 \text{ daN.m}$$

2-2- Moment résistant:

- **Poids du réservoir vide :**

$$W_{\text{vide}} = P_{\text{fond}} + P_{\text{robe}} + P_{\text{toit}} + P_{\text{accessoires}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{fond}} = 153.96 \text{ t} \\ P_{\text{robe}} = 363.39 \text{ t} \\ P_{\text{toit}} = 238.88 \text{ t} \\ P_{\text{accessoires}} = 21,07 \text{ t} \end{array} \right.$$

$$W_{\text{vide}} = 777.3 \text{ t}$$

- **Poids du réservoir charge :**

$$W_{\text{charge}} = W_{\text{vide}} + P_{\text{Gasoil}}$$

$$P_{\text{gasoul}} = \rho \times V = 850 \times 37000 = 31450000 \text{ kg} = 31450 \text{ t}$$

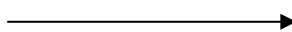
$$P_{\text{gasoil}} = 31450 \text{ t}$$

$$W_{\text{charge}} = 32227,3 \text{ t}$$

D : diamètre du réservoir = 52m

- **Réservoir vide :**

$$\frac{W_{\text{vide}} \times D}{3} = 13473.2 \text{ t.m}$$



$$(W \times D) / 3 > M_R$$

▪ **Réservoir charge :**

$$\frac{W_{\text{charge}} \times D}{3} = 558606.53 \text{ t.m} \quad \longrightarrow \quad (W \times D)/3 > M_R$$

Le réservoir est stable

2-3- vérifications de glissement:

$$W_{\text{vide}} \cdot \alpha > F_{\text{ext}}$$

Avec :

$$F_{\text{ext}} = 1.75 \times F = 1.75 \times 104047.16 = 182082,53 \text{ daN}$$

$$F_{\text{ext}} = 182082,53 \text{ daN}$$

$$\alpha = 0.4 \text{ (le coefficient de frottement acier-béton)}$$

$$W_{\text{vide}} \cdot \alpha = 777.3 \times 10^3 \times 0.4 = 310920 \text{ daN} > F_{\text{ext}}$$

Pas de risqué de glissement

2-4- Vérification de cisaillement au niveau de la plate-forme :

$$\tau < 0.65 \sigma_e$$

$$\tau = \frac{F_{\text{ext}}}{s} = \frac{F_{\text{ext}}}{\pi(R_{\text{ext}}^2 - R_{\text{int}}^2)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{\text{ext}} = 182082.53 \text{ daN.} \\ R_{\text{ext}} = 26.012 \text{ m} \\ R_{\text{int}} = 26 \text{ m} \\ \sigma_e = 27.5 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right.$$

$$\tau = \frac{182082,53}{\pi(26,012^2 - 26^2)} = 92861,05 \text{ daN/m}^2$$

$$\tau = 0.09286 \text{ daN/mm}^2 < 0.65 \times 2,75 = 1,78$$

$$\tau < 0.65 \sigma_e$$

- Pas de cisaillement
- Le réservoir est stable au vent.
- Pas d'ancrage.

3- Conclusion :

On conclu alors que le réservoir est stable à vide et en charge et ne nécessite pas de système d'ancrage au sol.

CHAPITRE VI :

Les accessoires du réservoir

Chapitre VI : Les accessoires du réservoir

Nous reportons dans ce chapitre les accessoires de réservoir utiliser et de quel façon ils sont importants .

1-Introduction :

Pour assurer la meilleur utilisation de 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 utilisé pour les essais hydrostatiques.

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

2-Trou d'homme sur robe :

Le trou d'homme sur robe est utilisé pour effectuer des travaux à l'intérieur du réservoir : acheminer les équipements nécessaires et accès pour exécuter les opérations d'entretien et de nettoyage.

Le trou d'homme sur robe est constitué d'une tôle de renforcement, d'un segment de tube, d'une bride, d'un couvercle (bride pleine) et accessoires (joint d'étanchéité, boulons, écrous, rondelles, ...etc)

La fabrication des éléments du trou d'homme sera effectuée en atelier. L'assemblage du trou d'homme sur la robe de réservoir sera exécuté sur chantier, par soudage approprié.



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

3-Tubulures :

Le réservoir sera muni d'un ensemble de tubulures recommandées par la Norme API.650.Std et d'autres tubulures exigées par le client pour satisfaire à son exploitation.



Figure VI .2 : Les 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.

Recommandations :les tubulures devront être conçues et exécutées conformément aux spécifications de la Norme API.650.Std.

➤ **Constitution :**

Les principales tubulures recommandées par la Norme API.650.Std, sont :

- 03 tubulures de remplissage avec déversoir de 16''
- 01 tubulure de sortie de liquide 34''
- 02 tubulures de vidange avec puisard de soutirage 10''
- tubulures supplémentaire exigées par le client.

4-Porte de visite :

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



Figure VI .3 : Porte visite

5-Le jaugeur du réservoir :

5-1- Définition :

Cet accessoire est conçu pour fournir des données du réservoir quantitatives avec un maximum de fiabilité et de précision pour toutes les applications sur réservoir avec un minimum de maintenance et des procédures d'installation et de configuration les simples possibles.



Figure VI .4 : Jaugeur du réservoir

5-2- Fonctionnement :

Ce système utilise généralement pour :

- Exploitation des installations :
 - Contrôle du mouvement hydrocarbure
 - Contrôle opérationnel et contrôle des mélanges
 - Protection contre les fuites et le trop plein
 - Revus des événements
- Gestion globale :
 - Calculs d'inventaire
 - Contrôle des pertes
 - Transaction commercial
 - Transaction commercial légale

6-La cuvette :

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



Figure VI .5 : cuvette

7-Mise à la terre :

Il sera prévu l'installation d'un réseau de mise à la terre destiné à assurer l'écoulement à la terre des courants électriques provenant des courants de défauts des décharges électrostatiques.

Toutes les masses seront interconnectées et mises à la terre afin d'éviter l'apparition de tensions dangereuses à l'intérieur des installations. Une équipotentialité du sol des locaux contenant du matériel électrique sera réalisée au moyen d'un quadrillage noyé dans le radier en béton des locaux.



Figure VI .6 : Mise à la terre

8-Escalier hélicoïdal :

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

Recommandation :

Toutes les pièces doivent être métalliques.

- Largeur des l'escalier (minimum) 71 cm.
- Angle de l'escalier avec l'horizontale (max) 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 appliquée dans une quelconque direction en un point quelconque de la lisse supérieure.
- Les mains courantes devront régner des deux cotés 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.

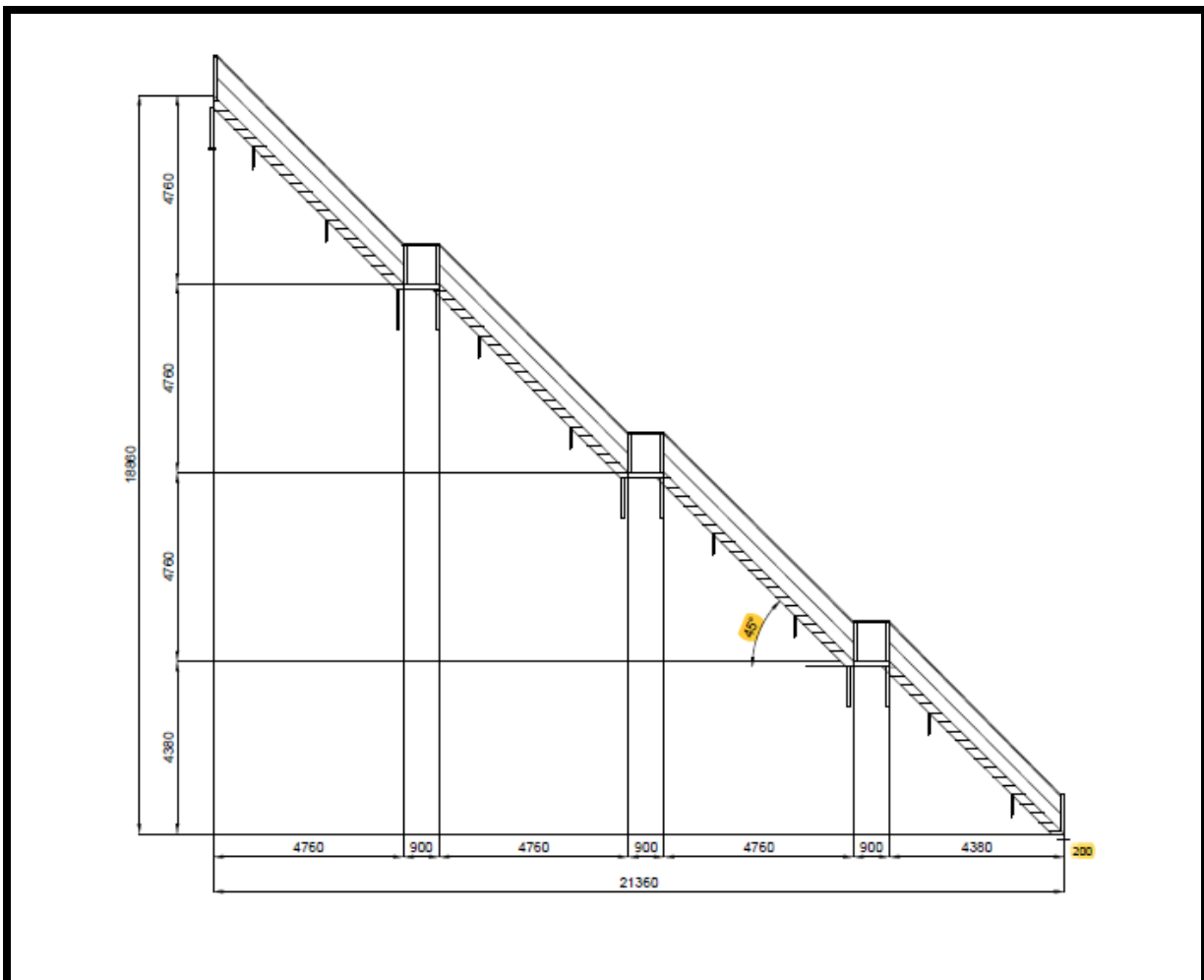


Figure VI .7 : Schéma statique de l'escalier hélicoïdal

8-1 Dimensionnement des escaliers hélicoïdaux :

(selon API 650 Std)

On prendre : $b = 250 \text{ mm}$

$h = 230 \text{ mm}$

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

Les marches sont construites par des tôles striées d'épaisseur 5mm, ces derniers sont boulonnés avec le limon.

$$P = \gamma \cdot e = 7850 \times 0,005 = 39,25 \text{ daN/m}^2 \quad W_y = 4,17 \text{ cm}^3 \quad e = 0,5 \text{ cm}$$

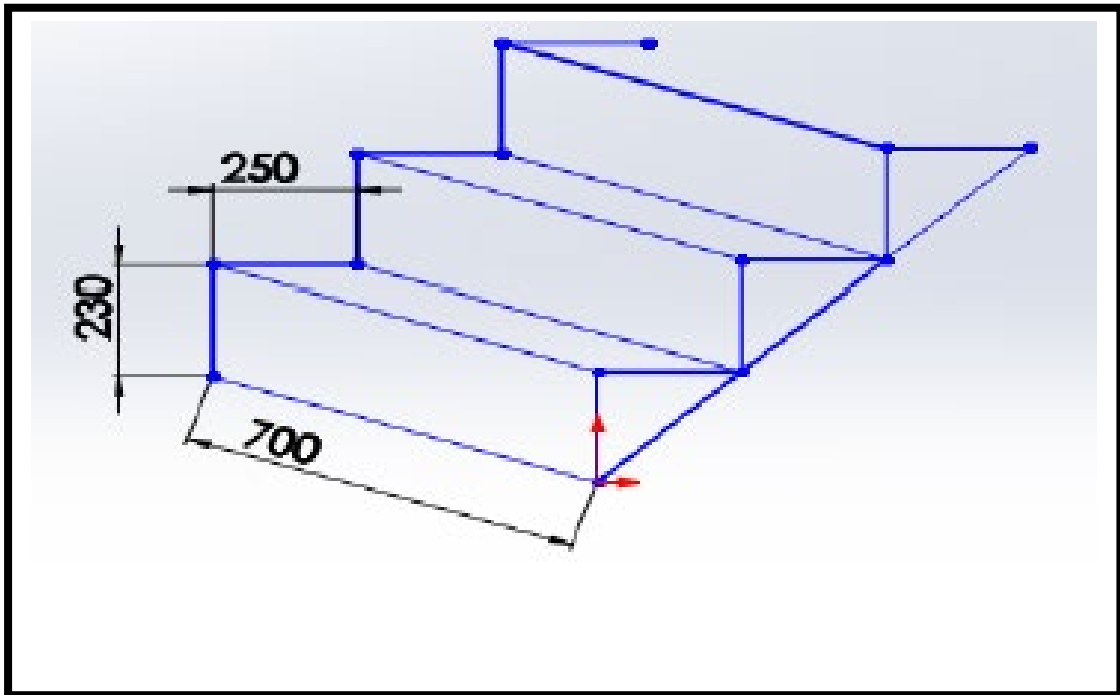


Figure VI .8 : Marche de l'escalier.

8-1-1-Etude de vent :

- Rapport de dimension λ : est le rapport de la dimension h_α suivant la ligne de plus grande pente du versant à la dimension horizontale /parallèle au bord de l'escalier

$$\lambda = \frac{h_\alpha}{l} \rightarrow \lambda = \frac{h_\alpha}{l} = 1.41 \Rightarrow \gamma = 1.31$$

- Actions résultantes sur l'escalier : C

$$C = c \cdot \gamma \alpha$$

$$\gamma_\alpha = \frac{50-\alpha}{10} \gamma + \frac{\alpha-40}{10} \quad 40^\circ < \alpha < 50^\circ$$

C = 1,675 sur le bord d'attaque.

C = 0,925 sur le bord de fuit.

- Charge du au vent :

$$Q_v = q_h \cdot K_s \cdot K_m \cdot \delta \cdot C \cdot \beta \quad q_{10} = \frac{v^2}{16.3} = 121,18 \text{ daN/m}^2$$

$$h = 18,86 \text{ m}$$

$$q_h = 2,5 \cdot \frac{h+18}{h+60} q_{10} = 2,5 \times \frac{18,86+18}{18,86+60} 121,18 = 141,60 \text{ daN/m}^2$$

$$k_m = 1 \quad k_s = 1,35 \quad \delta = 0,77 \quad \beta = 1,14 \quad C = 1,675$$

$$Q_v = 141,60 \times 1,35 \times 1 \times 0,77 \times 1,14 \times 1,675 = 281,06 \text{ daN/m}^2$$

8-1-2-Etude de sable :

$$\text{Charge de sable : } Q_s = 25 \text{ daN / m}$$

8-1-3-Evaluation des charges :

La marche est soumise aux charges et surcharges suivantes :

- la charge permanente :

$$\text{Poids de la marche : } G = 39,25 \times 0,25 = 9,81 \text{ daN/m.}$$

$$\text{Charge du vent : } Q_v = 439,09 \times 0,25 = 109,77 \text{ daN/m.}$$

$$\text{Charge de sable : } Q_s = 25 \times 0,25 = 6,25 \text{ daN / m .}$$

8-2 Calcul des limons :

On a choisi le Profilé UPN180 , ces caractéristiques :

$$L = 6,73 \text{ m}$$

$$I_y = 13,5 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 150 \text{ cm}^3$$

$$A = 28 \text{ cm}^2$$

$$P = 22,5 \text{ daN/m}$$

8-2-1-Evaluation des charges :

Une volée contient deux limons, et chaque limon doit supporter la moitié des charges et des surcharges exercées sur la volée.

- la charge permanente :

$$\text{Le limon (UPN180) : } G_1 = 22,5 \text{ daN/mm}$$

$$\text{La marche : } G_2 = \frac{1}{2} (39,25 \cdot 0,7) = 13,73 \text{ daN/mm.}$$

Avec :

- La longueur d'une marche : 0,7m
- Le nombre des marches : 20
- La longueur totale du limon : 6,73m

$$\text{Total : } G_T = G_1 + G_2 = 36,23 \text{ daN/mm.}$$

$$\text{la sur charge d'exploitation : } P = 100 \cdot 0,7 = 70 \text{ daN/mm.}$$

la charge non pondérée : $Q_1 = G_1 + G_2 + P = 106,32 \text{ daN/mm}$.

la charge pondérée : $Q_2 = 1,35.(GT) + 1,5.P = 153,91 \text{ daN/mm}$.

La vérification :

➤ **La flèche :**

Le limon doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5Q_1 \cos \alpha L^4}{384EI_y} \leq \frac{L}{200}$$

Avec α : l'angle d'inclinaison du limon $\alpha = 45^\circ$

AN :

$$\frac{5 \times 106,32 \cdot 10^{-3} \times \cos(45) \times 6730^4}{384 \times 21000 \times 1350 \cdot 10^4} \leq \frac{6730}{200}$$

$$7,01 \leq 33,65$$

donc Condition vérifiée.

➤ **La résistance :**

La condition de la résistance est la suivante : $M_{sd} \leq M_{Rd}$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 \cos \alpha l^2}{8} = \frac{153,91 \times 0,7 \times 6,730^2}{8} = 609,96 \text{ daN/m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y W_y}{\gamma_0} = \frac{27,5 \times 150}{1,1} = 3750 \text{ daN/m}$$

$M_{sd} = 609,96 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 3750 \text{ daN.m}$ donc Condition vérifiée.

➤ **La compression :**

Pour que le limon résiste à la compression, il faut que: $N_{sd} \leq N_{Rd}$

N_{sd} : effort de compression

N_{Rd} : effort normal de la plastification

$$N_{sd} = Q_1 \cdot \sin \alpha \cdot L = 106,32 \times 0,7 \times 6,730 = 500,44 \text{ daN}$$

$$N_{Rd} = A f_y / \gamma_0 = 28 \times 275 / 1,1 = 700 \text{ daN}$$

$N_{sd} = 500,44 \text{ daN} \leq N_{Rd} = 700 \text{ daN}$ donc Condition vérifiée.

8-3-Calcul du palier de repos :

8-3-1-Tôle :

Nous avons prévu pour le palier de repos, une tôle striée d'épaisseur 10 mm, posée sur des poutres UPN160, comme l'indique la figure ci-dessous :

❖ Evaluation des charges :

- la charge permanente :

La tôle : $G = 7580 \times 0.01 = 78.5 \text{ daN/m}^2$.

- la sur charge d'exploitation :

$P = 250 \text{ daN/m}^2$

- la charge non pondérée :

$Q_1 = G + P = 328,5 \text{ daN/m}^2$.

- la charge pondérée :
- repos

$Q_2 = 1,35. G + 1,5. P = 481 \text{ daN/m}^2$.

❖ La verification :

➤ La flèche :

Selon aide mémoire –RDM- (p 133), on a pour une plaque rectangulaire uniformément chargée, encadrée sur 4 cotés (soudée) :

$$e = 10\text{mm}, a = 700\text{mm}, b = 1000\text{mm} \Rightarrow b/a = 1,43$$

Supposant que le centre du repère (OXY) est confondu avec le centre de gravite de la plaque. La flèche maximale (quand $x=0, y=0$), est :

$$f = \frac{0,0226 Q_1 a^4}{E. e^3} \leq \frac{700}{200}$$

$$\text{An : } \frac{0,0226 \times 328,5 \cdot 10^{-6} \times 700^4}{21000 \times 10^3} \leq \frac{700}{200}$$

$$0,104 \leq 3,5$$

donc Condition vérifiée.

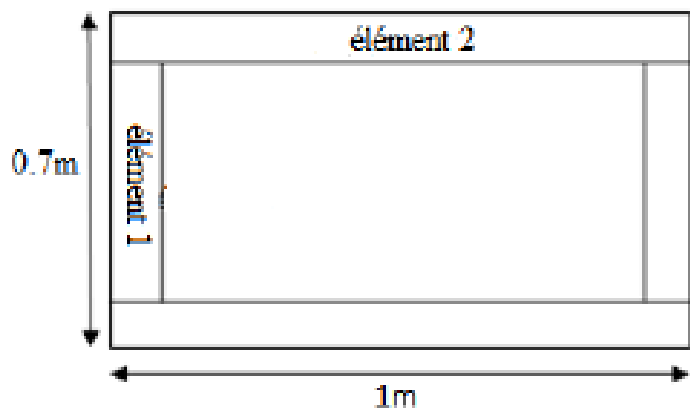


Figure VI .9 : Schéma du palier de repos

8-3-2-Elément 1 : UPN160

Cette poutre des charges et surcharges de palier de repos. La poutre a les caractéristiques suivantes :

$$I_y = 925 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 116 \text{ cm}^3$$

$$P = 19.3 \text{ daN/m}$$

$$L=0,7 \text{ m}$$

❖ **Evaluation des charges :**

- la charge permanente :

$$\text{La tôle : } G_1 = 78,5 \cdot 0,7 = 54,95 \text{ daN/mm.}$$

$$\text{La poutre (UPN160) : } G_2 = 19,3 \text{ daN/mm.}$$

$$\text{Total } G = 54,95 + 19,3 = 74,25 \text{ daN/mm.}$$

- la sur charge d'exploitation : $P = 250 \cdot 0,7 = 175 \text{ daN/mm}$
- la charge non pondérée : $Q_1 = G + P = 249,25 \text{ daN/ml.}$
- la charge pondérée : $Q_2 = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot P = 362,74 \text{ daN/ml}$

❖ **Les vérifications :**

➤ **La flèche :**

On doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

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

AN :

$$\frac{5 \times 249,25 \cdot 10^{-3} \times 700^4}{384 \times 21000 \times 925 \cdot 10^4} \leq \frac{700}{200}$$

$$1,51 \leq 3,5$$

donc Condition vérifiée.

➤ **La résistance**

La condition de la résistance est la suivante : $M_{sd} \leq M_{rd}$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 I^2}{8} = \frac{362,74 \cdot 0,7^2}{8} = 22,22 \text{ daN/m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y W_y}{\gamma} = \frac{275 \cdot 116 \cdot 10^{-2}}{1,1} = 290 \text{ daN/m}$$

$M_{sd} = 22,22 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 290 \text{ daN.m}$ donc Condition vérifiée

8-3-3-Elément 2 : UPN160

Cette poutre des charges et surcharges de palier de repos. La poutre a les caractéristiques suivantes :

$$I_y = 925 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 116 \text{ cm}^3$$

$$P = 19,3 \text{ daN/m}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

❖ **Evaluation des charges :**

- la charge permanente :

$$\text{La tôle : } G_1 = 78,5 \cdot 1 = 78,5 \text{ daN/ml.}$$

$$\text{La poutre (UPN160) : } G_2 = 19,3 \text{ daN/ml.}$$

$$\text{Total } G = 78,5 + 19,5 = 97,8 \text{ daN/ml.}$$

- la sur charge d'exploitation : $P = 250 \cdot 1 = 250 \text{ daN/ml}$

- la charge non pondérée : $Q_1 = G + P = 347,8 \text{ daN/ml.}$

- la charge pondérée : $Q_2 = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot P = 507,03 \text{ daN/m}$

❖ **Les vérifications :**

➤ **La flèche :**

On doit satisfaire la condition de la flèche suivante :

$$\frac{5Q_1 L^4}{384EI_y} \leq \frac{L}{200}$$

AN :

$$\frac{5 \times 347,8 \cdot 10^{-3} \times 100^4}{384 \times 21000 \times 925 \cdot 10^4} \leq \frac{100}{200}$$

$$2,33 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

donc Condition vérifiée.

➤ La résistance

La condition de la résistance est la suivante : $M_{sd} \leq M_{rd}$

$$M_{sd} = \frac{Q_2 I^2}{8} = \frac{507,03 \times 1}{8} = 63,38 \text{ daN/m}$$

$$M_{Rd} = \frac{f_y W_y}{\gamma} = \frac{275 \times 116}{1,1} = 290 \text{ daN/m}$$

$$M_{sd} = 63,38 \text{ daN.m} \leq M_{Rd} = 290 \text{ daN.m}$$

donc Condition vérifiée.

D. Calcule de console :

On a choisi pour les consoles un profil L 70 × 70 × 7

On prend : L = 1m longueur du braquent. $\alpha = 45^\circ$

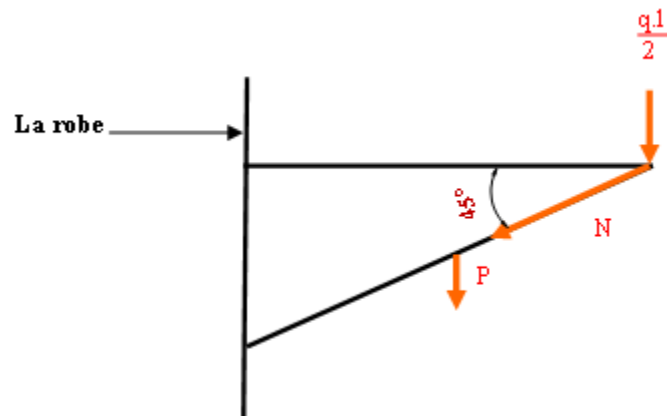


Fig VI .10 : Console

$$Q = G_{marche} / 2 + Q_{exploitation} + Q_{limon} / 2$$

Tel que :

$$G_{marche} = \gamma \cdot e \cdot a \cdot b = 7850 \cdot 0,005 \cdot 0,25 \cdot 0,7 = 6,86 \text{ daN}$$

$$Q_{exploitation} = 250 \text{ daN}$$

$$Q_{limon} = L \times \text{Poids linéaire} = 6,730 \times 19,3 = 129,89 \text{ daN}$$

$$Q = 6,18/2 + 250 + 129,89/2 = 318,03 \text{ daN}$$

$$Q_{(braquent)} = \frac{Q}{\cos \alpha} = \frac{318,03}{0,71} = 447,93 \text{ daN}$$

Vérification

- **Vérification à la compression**

Classe de section (d'après eurocode 3.tableau 5.3.1. P5.41)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\begin{cases} \frac{h}{t} = \frac{70}{7} \leq 15\varepsilon = 13,8 \\ \frac{b+h}{2t} = \frac{70+70}{2(7)} \leq 11,5\varepsilon = 10,626 \end{cases}$$

D'où la section est de classe 3.

Donc : $N_{c.Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 94.275 / 1,1 = 2350 \text{ daN}$

$$N_{sd} = 459,9 \text{ daN} \leq N_{c.Rd} = 2350 \text{ daN}$$

(donc condition vérifiée).

Le braquet L 70 × 70 × 7 résiste bien à la compression.

- **Vérification au flambement**

On a : $N_{sd} = 459,9 \text{ daN}$

Où : $\beta_A = 1$ section de classe 3.

Vérification au flambement : Il faut vérifier : $N_{sd.y} \leq N_{b.Rd.y}$

Tel que la résistance de calcul au flambement d'un élément comprimé doit être prise égale à : $N_{b.Rd.y} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$

χ : Coefficient de réduction pour le mode de flambement à considérer :

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{\phi + [\phi^2 + \lambda^2]}} \text{ , } \chi \leq 1$$

$\phi = 0,5[1 + \alpha[\bar{\lambda} - 0,2] + \bar{\lambda}^2]$ α : Facteur d'imperfection.

$$\bar{\lambda} = [(\beta_A \cdot A \cdot f_y) / N_{cr}]^{0,5} = (\lambda / \lambda_1) [\beta_A]^{0,5}$$

λ : L'élancement pour le mode de flambement.

$$\lambda = l_f / i = 23,58$$

l_f : longueur de flambement (braquet encastré -articulé) $l_f = 0,5 L = 500 \text{ mm}$

$$i : \text{rayon de giration} \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{42,3}{9,4}} = 2,12$$

$$\bar{\lambda} = (\lambda / \lambda_1) [\beta_A]^{0,5} = \frac{23,58}{86,76} \times 1^{0,5} = 0,27$$

$$\alpha = ?$$

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

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha[\bar{\lambda} - 0,2] + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49[0,49 - 0,2] + 0,49^2] = 0,69$$

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{\phi + [\varphi^2 + \lambda^2]}} = 0,86 \leq 1$$

$$\text{Donc : Nb.Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

$$\text{Nb.Rd} = 0,82 \cdot 1 \cdot 94,275 / 1,1 = 1933,4 \text{ daN}$$

$N_{sd} \leq \text{Nb.Rd}$. Condition vérifiée donc le braquet résiste bien au flambement.

8-3-Calcul du poids de l'escalier :

$$P_T = P_{\text{mache}} + P_{\text{limon}} + P_{\text{palie de repos}} + P_{\text{Console}}$$

$$\diamond P_{\text{mache}} = p \cdot n = 6,86 \cdot 81 = 556,36 \text{ kg}$$

Avec :

P : est le poids d'un seul marche
n : nombre de marche

$$\diamond P_{\text{pr}} = P_{\text{tole}} + P_{\text{element1}} + P_{\text{element2}}$$

$$p_{\text{tole}} = 78,5 \text{ kg}$$

$$p_{\text{element1}} = p \cdot l = 19,3 \cdot 0,7 = 13,51 \text{ daN}$$

$$p_{\text{element2}} = p \cdot l = 19,3 \cdot 1 = 19,3 \text{ daN}$$

Avec :

P : le poids de profilé
l: la longueur de profilé

$$P_{\text{pr}}(\text{un seul pr}) = 78,5 + 13,51 + 19,3 = 111,31 \text{ daN}$$

$$P_{\text{pr}}(\text{tout les pr}) = 111,31 \cdot 3 = 333,93 \text{ daN}$$

$$\diamond P_{\text{limon}} = p \cdot n \cdot l = 19,3 \cdot 8 \cdot 6,730 = 1039,112 \text{ daN}$$

Avec :

P : est le poids profilé
n : nombre de profilé

l: la longueur de profilé

$$\diamond P_{\text{Console}} = p \cdot nC = 7,38 \cdot 12 = 88,56 \text{ daN}$$

Avec

P : le poids de profilé

nC : nombre de profilé

$$P_T = 535,08 + 445,24 + 1039,112 + 88,56 = 2107,99 \text{ daN}$$

9-Conclusion :

On a utilisé uniquement les accessoires jugés importants et non pas tous qui sont proposés par L'API650, car le reste n'influe pas sur le bon fonctionnement du réservoir.

CHAPITRE VII :

Gamme de fabrication et montage

VII. FABRICATION ET MONTAGE

1- FABRICATION

1-1- Généralité

La présente spécification définit les exigences concernant les différentes étapes des travaux de préfabrication des pièces du réservoir.

Le fabricant est tenu de respecter les instructions ci-dessous mentionnées, et elles ne le dégagent en rien quant à la garantie de la qualité de ces travaux en atelier.

Le fabricant ne peut apporter les modifications qu'après approbation du client.

1-2- Codes Et Règlements

- API 650.
- Code ASME.
- Code ANSI.

1-3- Procédure De Fabrication

1-3-1- Gamme De Fabrication Tôlerie

➤ LES TÔLES DE ROBE

Avant le découpage des tôles brutes, il faut qu'il ait une vérification dimensionnelle des tôles.

Les tolérances de découpage seront les suivantes :

- Largeur : ± 1.5 mm
- Longueur : ± 2 mm.
- En diagonale : ± 3 mm.

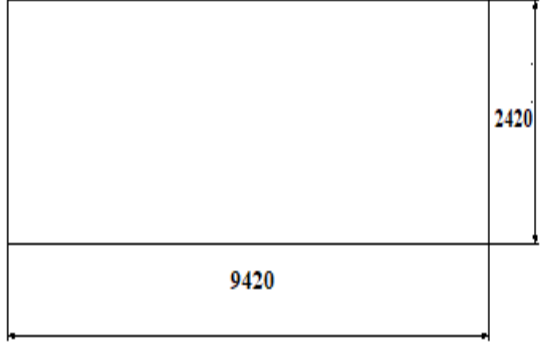
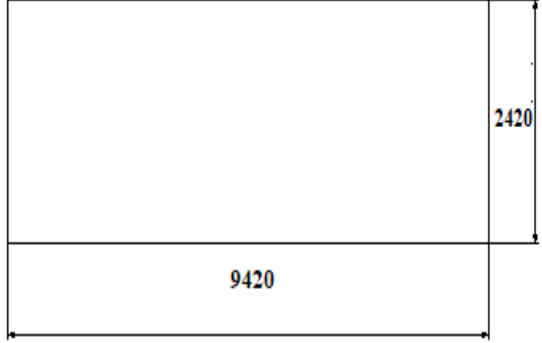
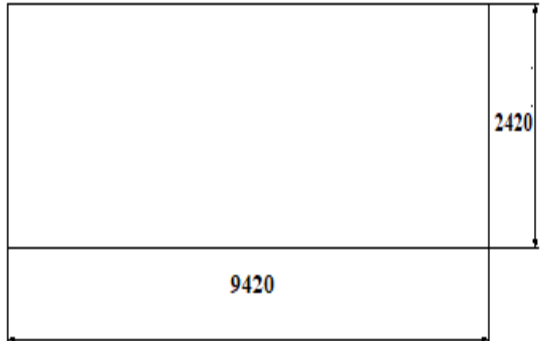
Après découpage, la tôle sera chanfreinée selon les dimensions données sur les plans.

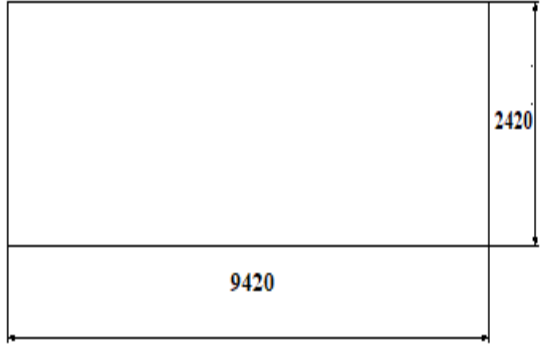
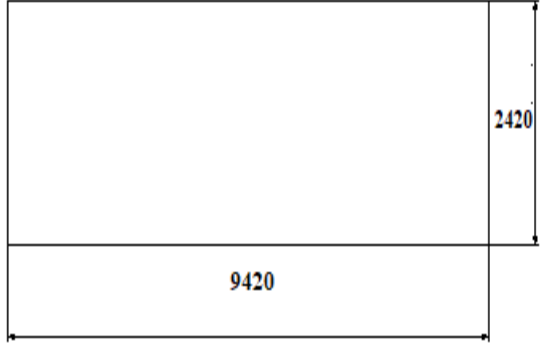
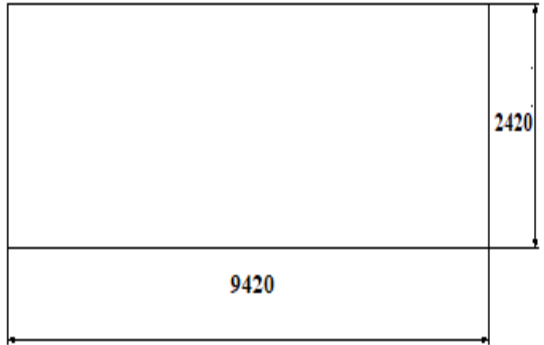
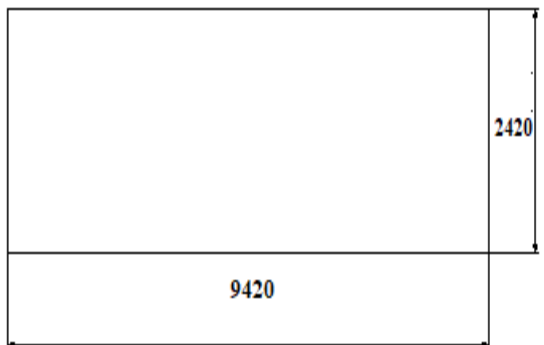
Le contrôle dimensionnel se fait au fur et à mesure du chanfreinage.

Le nettoyage des zones traitées, à savoir : meulage des bords, des scories etc...S'effectuera en atelier d'assemblage, après cela la tôle sera mise sur rouleau cintré, 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 20 T.

Tableau(VII).1 : représentant les différentes tôles de la robe

Repère	N°bre	Désignation	Croquis et cotes	Moyen de découpage
1	18	A573 gr 70 EP= 24mm		Oxycoupage
2	18	A573 gr 70 EP= 22mm		Oxycoupage
3	18	A573 gr 70 EP= 19mm		Oxycoupage

4	18	A573 gr 70 EP= 15mm		Oxycoupage
5	18	A573 gr 70 EP= 12mm		Oxycoupage
6	18	A573 gr 70 EP= 10mm		Oxycoupage
7	18	A573 gr 70 EP= 8mm		Oxycoupage

8	18	<p>A573 gr 70 EP= 8mm</p>	<p>9420 2420</p>	Oxycoupage
---	----	-------------------------------	----------------------	------------

➤ LES TÔLES MARGINALES

Les tôles marginales du fond seront découpées sur deux bancs selon les dimensions fournis sur les plans, une fois prêtes, elles seront acheminées vers la zone d'assemblage pour nettoyage à la meule des zones traitées et éventuellement pour dressage.

1-3-2- Gamme De Fabrication De La Charpente : (Poutres, chevrons, ...)

- Après débitage de la matière nécessaire, l'opération de découpage et perçage s'effectuera sur une chaîne - BOULTON-
- 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.
- L'inspecteur de l'Engineering pourrait exiger un montage à blanc de la charpente, afin de vérifier la bonne exécution.

1-3-3- Gamme De Fabrication Des Accessoires

➤ TUBULURES ET TROUS D'HOMME (fabrication unitaire)

✓ **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.

✓ **Trous d'homme**

- Les cols de trous 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 cols 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.

✓ **Renforts en tôle**

Les renforts en tôle seront découpés selon les plans après repérage de fabrication à cet effet, le trou intérieur ainsi ouvert pour recevoir le col du trou d'homme sera chanfreiné. Le renfort en tôle sera cintré de façon à ce qu'il se conforme à la courbure de la virole.

✓ **Tolérances de fabrication**

Les écarts admissibles sont indiqués dans le tableau ci-après :

Tableaux VII.2 .

ITEM	DIMENSIONS	TOLERANCES
TUBULURE SUR ROBE	Longueur de la tubulure (entre face de la bride et bout de tube)	+ 5,0 mm - 0 mm
	Inclinaison de la tubulure (face de bride / col de tubulure)	Selon la plus grande de ces deux valeurs 0,5 ° ou 2,0 mm
TROU D'HOMME SUR ROBE	Longueur du col (entre face de bride et bout de tube)	+ 10,0 mm
	Diamètre extérieur du col	+10,0 mm
	Inclinaison du trou d'homme (face de bride / col de trou d'homme)	+ 1°

scalier / garde-corps et autres :

Toutes les pièces de l'escalier, garde-corps et autres accessoires non tubulaires seront débitées suivant les plans par scie mécanique et guillotinées et seront acheminées vers l'assemblage et le cintrage.

2- MONTAGE DE RESERVOIR

2-1- Généralité

Tous les opérations concernant la construction et le montage du bac devront être exécutées conformément aux spécifications du code API Std.650, et à la norme ASME Section IX. (WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS)

En plus ,le realisateur est tenu de respecter également ,les plans d'engineering du bac ,les plans d'execution,plans des fondations,et les tolerances d'imentionnelles fournies par le bureau d'étude.

2-2- Préparation Du Chantier

➤ RECEPTION DES TRAVAUX DE GENIE CIVIL :

Avant le début du montage, il est indispensable d'effectuer la réception des ouvrages de Génie civil suivants :

- Fondation du bac.
- Plate forme autour du bac.

2-3- Documentation Technique

Pendant la période des travaux de montage. L'Entrepreneur devra tenir à jour le journal de montage qui devra comprendre au minimum les indications suivantes :

- Nom du client.
- Nom de l'Engineering
- Date et horaire.
- Repère du bac et son volume.
- Conditions climatiques.
- Nombre et qualification des ouvriers.
- Descriptif détaillée du travail par propositions.
- Données sur les relevés exécutés (croquis).
- Commentaire du superviseur.

2-4- Journal De Soudage

Ce document est tenu quotidiennement dès le premier jour des travaux de soudage, en nombre d'exemplaires suffisant. Il doit comprendre les indications suivantes :

- Repère du bac et volume
- Date et horaire
- Conditions climatiques et température ambiante.
- Liste de tous les soudeurs avec le numéro ou repère d'identification.
- Description du travail exécuté (repère de la soudure, position, type et sorte d'électrode, numéro et date de validité de leurs certificats).

- Commentaires et signature de l'entrepreneur.
- Commentaires et signature du superviseur.

2-5- Documentation D'exécution

En plus du présent document, l'entrepreneur est tenu de respecter les documents suivants :

- Règles générales ou cahier des charges des travaux.
- Plans d'exécution.
- Règles API 650.
- Code ASME Section IX.
- Règles de la DPP.

Le journal sera rédigé en nombre d'exemplaire convenu, chaque jour à la fin du travail, il doit être signé par le représentant de l'entrepreneur et sera remis à la signature du superviseur.

Un exemplaire de ce journal est retenu par le superviseur.

2-6- Procédés De Soudage

L'Entrepreneur est tenu de respecter la procédure de soudage pour chaque type de soudure, conformément aux règles ASME section IX.

Ces documents doivent être faits en conformité à ce document et toutes spécifications émanant de l'ENGINEERING.

2-7- Qualification Des Procédés De Soudage

Avant de commencer les travaux de soudage, l'Entrepreneur est tenu d'effectuer la qualification de tous les procédés de soudage conformément aux règles **ASME section IX**. Il faut tenir compte notamment des variables ayant l'influence au changement du procédé de soudage et qui exigent de nouvelles qualifications, chaque qualification devra être enregistrée, prescrite, essayée et estimée aux formulaires correspondants **WPS** et **PQR**.

L'exécution du soudage aux fins de la qualification du procédé, de l'essai des éprouvettes ainsi que le rapport des résultats des essais devra être effectuée en présence du représentant de l'établissement autorisé, de la DPP et du client.

2-8- Qualification Des Soudage

Tous les soudeurs devant exécuter les travaux de soudage devront passer l'examen de qualification, avant le début de soudage, suivant les règles **ASME section IX**.

Les certificats sont à remettre avant le journal de soudage au superviseur.

La qualification doit être effectuée sur le même matériau de base prévu pour les bacs en accord avec le procédé de soudage

Le certificat de chaque soudeur et machine de soudage automatique ne devra pas être daté de plus d'un an.

Chaque soudeur devra posséder son poinçon avec un repère d'identification différent à celui des autres soudeurs.

2-9- Montage Du Fond Selon L'ordre De Soudage

2-9-1- Reperage

Avant le début du montage d'un fond, il faut reperer les axes principaux des éléments suivants:

- fondation, soit de la surface bétonnée dans la direction nord sud.
- fond de bac.
- la paroi avec les tubulures.
- toit.

Toutes les pièces du bac sont repérées conformément aux plans d'exécution ou à la nomenclature d'expédition de l'usine du fournisseur.

2-9-2- Protection Anti-corrosive Du Fond

Toutes les toles après repérage découpage et préparation des chanfreins seront renversées et protégées d'une couche anti-corrosion du côté inférieur (sol de fondation sur tole) avant d'être posées sur les fondations.

Les bouts des toles devront être propres et secs .

On ne doit pas assembler les toles pour entamer l'étape suivante avant que le superviseur contrôle la protection anti corrosive.

2-9-3- Mise En Place Du Fond

L'assemblage des toles 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.

Au cours de montage le risque de retrait est écarté par le biais d'un système de fixation provisoire, de même pour les toles marginales un système de fixation provisoire est prévu pour avoir une bonne précision de soudage.

2-9-4- Pointage Du Fond

Le pointage des fonds est à effectuer par le procédé de soudage à l'arc manuel avec les électrodes suivant la qualification **AWS 5-1** de qualité **E 7018** .

L'ordre de pointage des toles du fond sera comme suit :

-Pointer et souder les toles marginales ,Pointer deux toles centrales adjacentes à leur largeur.

-Le pointage des toles 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 pointage est de : 300mm.

2-9-5- Soudage Du Fond

Le soudage du fond du bac doit être effectué par le procédé de soudage à l'arc manuel.

Avant le début du soudage, les chanfreins doivent être nettoyés de toutes les impuretés (graisses, humidité, corrosion, poussière, etc)

La largeur de la zone devant être nettoyée est au minimum de 30mm 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 toles.

Après cela on effectue les soudures longitudinales à partir du centre vers la périphérie des fonds.

L'annexe A : donne l'ordre du montage du fond du bac en tenant compte que les soudures

ne seront effectuées que lorsque les deux premières viroles du bac sont soudées.

Les écarts éventuels relatifs aux paramètres données ne sont admis qu'après l'approbation du superviseur.

2-10- Montage De Robe

2-10-1- Preparation Des Toles

Les bords des toles de la paroi doivent être nettoyés, avant le début du montage de toutes

les impuretés jusqu'à l'obtention de l'éclat métallique.

Les dimensions des chanfreins doivent rester dans les tolérances prescrites.

Des précautions doivent être prises pour le stockage et le transport des toles pour éviter toute détérioration. Pour poser et assembler correctement les toles, avec un entraxe prescrit, il faut utiliser des moyens adéquats tels que plats, ronds, réglette etc ...



(Figure : VII.1.)

2-10-2- Mise En Place De La 1^{ère} virole

Les jeux de joints de soudage figurant sur le mode opératoire de soudage doivent être scrupuleusement respectés.

Dans le cas où la longueur de la dernière tôle est plus grande, il faut l'adapter au montage.

2-10-3- Pointage Et Soudage De 1^{ère} virole

-Le pointage des toles de la 1^{ère} virole ne sera exécutée que sur les joints verticaux.

-Il ne sera admis aucun pointage de la tole de première virole avec le fond du bac.

-Tous les pointages sont à effectuer, par le procédé de soudage à l'arc manuel, avec électrode basique enrobée d'un diamètre de 3,25mm .

-La longueur du pointage sera de 40 à 50 mm et l'entraxe entre deux pointages sera de 500

mm environ. Le soudage vertical est à exécuter par le procédé à l'arc manuel dans la position verticale.

-montante.On réalise d'abord le soudage sur la face extérieure puis on effectue le meulage l'envers sur la face intérieure du bac .

2-10-4- Mise En Place De La 2^{ème} virole

Utilisant un clam soudée sur la virole inférieure et des chutes de cornière et un axe de tige fileté le bon soudage des viroles et une bonne exécution est assurée (voir figure...)

2-10-5- Pointage Et Soudage De La 2^{ème} virole

-Le pointage des toles de la 2^{ème} virole doit être effectué d'abord sur les joints verticaux
-Le pointage sur le joint horizontal, entre la première et la deuxième virole ne doit être effectué qu'après le soudage définitif des 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 effectuer de la même manière que la première virole.

2-10-6- Pointage Et Soudage Du Joint Horizontal Entre La 1^{ère} et la 2^{ème} 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 .

-Le soudage doit être effectué 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 .

➤ SOUDAGE DU FOND ET DE LA PREMIERE VIRROLE

Ce soudage ne peut commencer qu'après le soudage complet de la première et deuxième virole du bac.

L'exécution est à faire simultanément par 04 soudeurs au minimum .

Afin d'avoir une bonne précision , l'utilisation d'un clavier et une barre d'acier est primordiale (figure ..)

2-11- Montage et soudage de toit fix

Le montage du toit se fait après les poteaux et le soudage de la dernière virole et le contrôle complet de la robe.

• Préparations avant le montage

- Préparation des échafaudages à l'intérieur de réservoir.

Le montage se compose des phases suivantes :

- Montage et soudage de la cornière de la rive.

- montage et contrôle de la charpente du toit.

- montage et pointage des tôles du toit.
- soudage des tôles du toit.
- contrôle final du toit.
- Démontage du mat provisoire.

2-11-1- Montage Les Accessoires Du Toit

En plus des éléments principaux (tablier,couronne,cloisons),le toit contient aussi des biquils de supore , trou d'homme ...

2-12- Execution Des Autres Viroles

Le pointage est identique aux viroles inférieures sauf qu'il doit se faire à l'intérieur. Les soudures verticales sont identiques aux viroles 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.



(Figure : VII.2.)

➤ FIXATION DES TOLES LORS DU MONTAGE

Au cours de montage et soudage des toles du bac, un dispositif de fixation de celle-ci avec des cables , doit être prévu pour éviter tout risque de détérioration par le vent.

2-13- Montage Et Soudage De La Corniere 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 avec l'électrode **E7018** .
- On soude d'abord les éléments du profilé entre eux ensuite avec la dernière virole .

2-14- Montage Des Accessoire Du Reservoir :

Comme étape de finalisation de montage du bac viens. le montage des accessoire principaux(poutre au vent ,raidisseur intermediaire,escalier hélicoidale, passrelle,echell roulant)

Le montage de l'élément de guidage est laissé en dernier car il est passé sur la robe d'un coté et sur la passrelle d'un autre.

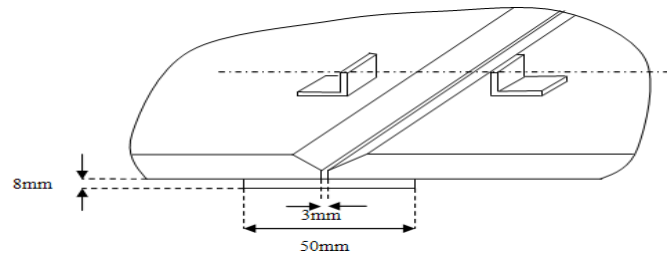


Figure : VII.3. Assemblage bout à bout (tôles marginales)

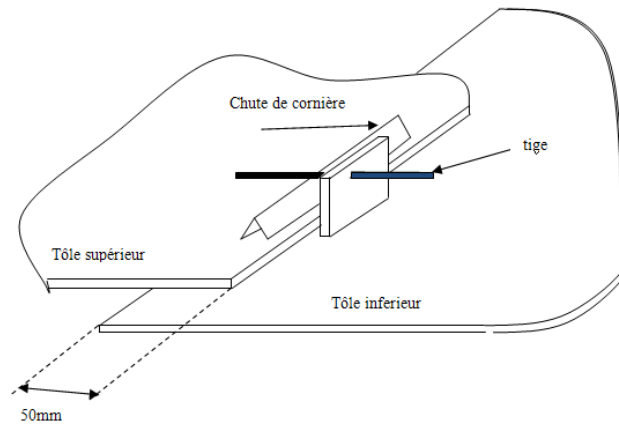


Figure : VII.4. Assemblage par recouvrement (toit, fond)

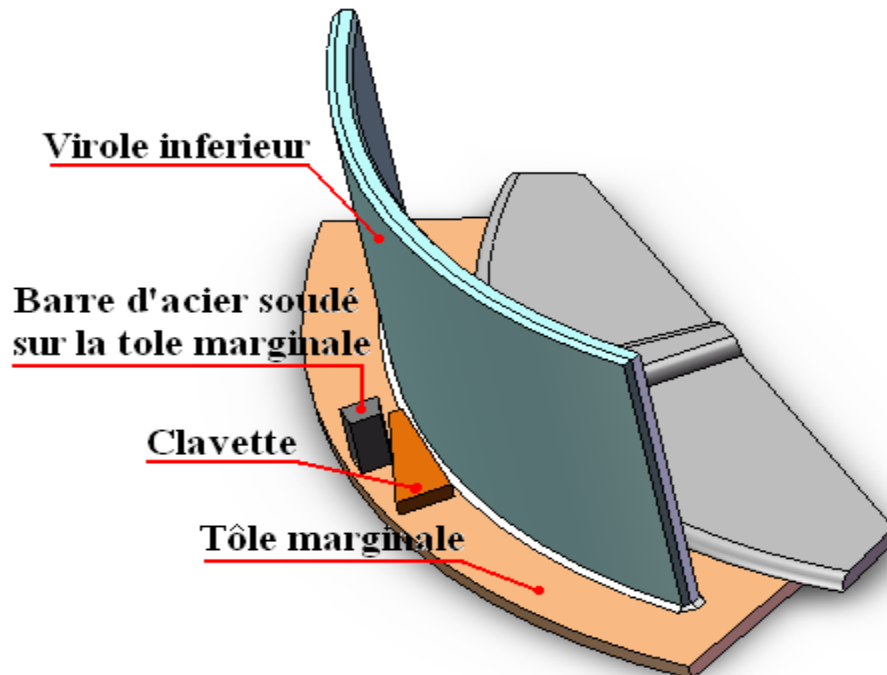


Figure : VII.5. Assemblage robe-fond

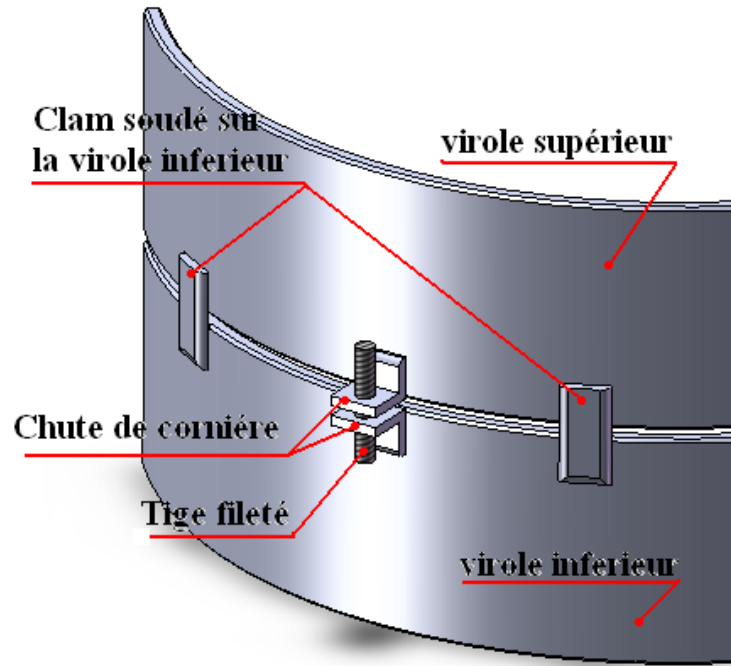


Figure : VII.6 : Assemblage des viroles (soudage des joints horizontaux)

Remarque : Les détails sur les découpages des tôles marginales, les tôles périphériques du fond, et les ouvertures sur la robe sont présentés à l'annexe.

Conclusion

On constate que la fabrication se base sur les calculs théoriques tout en tenant compte du volet pratique, cependant le montage dépend de l'environnement du chantier qui comprend les qualifications des ouvriers et les contrôleurs.

CHAPITRE VIII :

Soudage et

contrôle.

Chapitre VIII : Soudage et contrôle :

1- Introduction :

Toutes les activités de soudage doivent être satisfaites aux exigences de la norme ASME, et les exigences supplémentaires de cette norme. Les WPS (welding procedure specification), doit être établis pour toute la soudure qui sera utilisée dans la fabrication de la chaudronnerie et la tuyauterie. Les exigences à remplir par l'entreprise de soudage, en liaison par exemple avec le système d'assurance qualité, dépendent de l'utilisation envisagée pour les conduites et du niveau de qualité associé. Les soudeurs doivent être homologués, pour les techniques de soudage, les matériaux et les dimensions prévus et être détenteurs d'un certificat de qualification en cours de validité.

2- Définition du soudage :

Le soudage est une opération de micro-métallurgie consistant à exécuter un cordon fondu liant les bords de deux pièces ; il est dit homogène quand ces deux pièces, ainsi que le métal d'apport du joint, ont une composition chimique identique ou voisine, et hétérogène dans les autres cas.

2-1- Différents procédés du Soudage :

Dans notre projet, on va travailler avec deux procédés :
SMAW (abréviation de shielded metal-arc welding) ;
SAW (submerged arc welding).

3- Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée :

3-1- Définition du procédé :

Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée, Specification Manual Arc Welding (SMAW), est réalisé à partir d'un arc électrique créé et entretenu entre l'âme métallique de l'électrode et la pièce à souder. L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce à assembler et l'âme métallique de l'électrode pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure recouvert d'un laitier protecteur. Un générateur électrique fournit le courant continu ou alternatif avec une intensité variant de 45 à 400 ampères en fonction de différents paramètres comme :

- ❖ Diamètre de l'électrode ;
- ❖ La nature de l'âme de l'électrode ;

- ❖ La nuance des pièces à assembler ;
- ❖ La position de soudage ;
- ❖ Type d'assemblage rencontré ;
- ❖ L'épaisseur des pièces à souder.

3-2- Principe du procédé :

L'électrode enrobée est placée et serrée sur une pince porte l'électrode reliée sur l'une des bornes électriques de sortie du poste de soudage. Le connecteur de pièce est relié au générateur et place sur la pièce à souder. L'amorçage de l'arc est réalisé en frottant l'extrémité généralement graphitée de l'électrode sur la pièce et en écartant de quelques millimètres le bout de l'électrode lorsque l'arc jaillit. Ensuite, il faut entretenir cet arc électrique afin d'éviter la rupture d'arc en veillant à maintenir une distance constante la plus possible entre le bout de l'électrode et la pièce à souder.

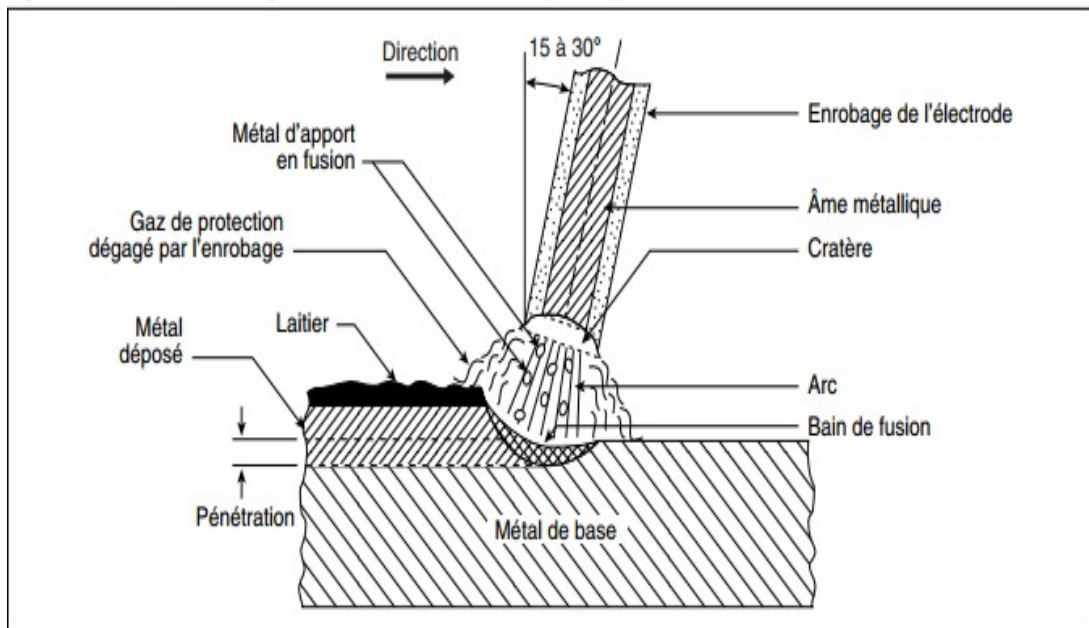


Figure VIII. 1 : Le principe de procédé soudage SMAW.

3-2- L'électrode enrobée :

L'électrode est constituée de deux parties distinctes :

L'âme : partie métallique cylindrique placée au centre de l'électrode. Son rôle principal est de conduire le courant électrique et d'apporter le métal déposé de la soudure.

L'enrobage : partie extérieure cylindrique de l'électrode. Il participe à la protection du bain de fusion de l'oxydation par l'air ambiant en générant une atmosphère gazeuse entourant le métal en fusion. L'enrobage dépose, lors de sa fusion, un laitier protecteur sur le dessus du

cordon de soudure. Ce laitier protège le bain de fusion de l'oxydation et d'un refroidissement trop rapide.

Rôles de l'enrobage ;

Rôle électrique, assure la stabilité et la continuité de l'arc par son action ionisante.

Rôle métallurgique, il permet d'apporter les éléments chimiques spéciaux d'addition nécessaires. Sa composition chimique et physique est très complexe.

Rôle physique : il guide l'arc et assure le soudage en position.

Rôle chimique : il protège le métal contre l'action de l'air ambiant et le refroidissement du cordon par formation d'un laitier.

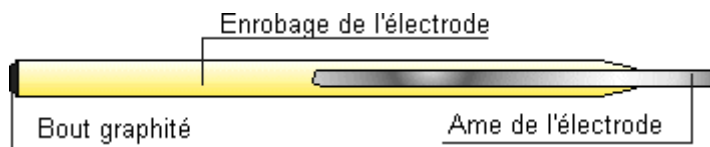


Figure VIII. 2 : Schéma d'une électrode enrobée.

Classification des enrobages des électrodes enrobées :

Acide ou A (à base d'oxyde de fer et de ferro-alliages) :

Ce type d'électrode a le plus souvent une vitesse de fusion enlevée et peut s'employer avec de forte intensité la pénétration peut être bonne.

Basique ou B (à base de carbonate de calcium et de fluor de calcium) :

Ces électrodes produisent des soudures ayant de meilleures propriétés de résistance et de ténacité. L'enrobage contient du carbonate de calcium et d'autres carbonates divers.

Cellulosique ou C (à base de cellulose) :

L'arc produit par ce type d'électrode est très pénétrant. Ces électrodes contiennent une grande proportion de combustibles organiques dans l'enrobage.

Oxydant ou O (à base d'oxyde de fer et de ferro-alliages) :

Ces électrodes contiennent principalement de l'oxyde de fer. Ce type d'enrobage donne un laitier oxydant épais. Ce type d'électrode donne une faible pénétration et un bain de fusion fluide

Rutile ou R (à base d'oxyde de titane) :

Électrodes pour applications générales ne nécessitant pas un contrôle strict des caractéristiques mécaniques. Ces électrodes contiennent une forte proportion d'oxyde de titane dans l'enrobage.

Spécial ou S :

Permet de symboliser les autres types d'électrode dont les enrobages n'entrent dans aucune des spécifications données ci-dessous :

Tableau VIII. 1 : Spécification des différents types d'enrobages.

Types Spécification	Rutile	Basique	Cellulosique	Acide	Oxydant
Qualité	Très bonnes	Excellente très résistance à la fissuration	Bonne	Bonne .belle aspect	Moyen mais de beaux aspects
Utilisation	Tous travaux courants.	Travaux de qualité et/ou en position.	Soudure descendante.	Amorçage facile.	Tôle mince. Soudure à plat, angle ou gouttière
Pénétration	Moyenne	Moyenne	Forte	forte	Faible

Les électrodes enrobées utilisées sont couramment :

- ❖ Rutiles pour les travaux courants.
- ❖ Basiques pour tous les travaux de sécurité (tuyauterie et appareil sous pression).
- ❖ Cellulosiques pour les soudures à forte pénétration en position descendante.

C. Choix d'une électrode enrobée

Ce choix est basé principalement sur :

- ❖ La nature et l'épaisseur des pièces à souder ;
- ❖ La nature et les possibilités du courant de soudage ;
- ❖ La résistance requise du cordon de soudure ;
- ❖ Du profil du cordon ;
- ❖ De la position de la soudure ;
- ❖ Des facilités d'emploi ;
- ❖ De vitesse d'exécution.

4- Soudage à l'arc submerge sous flux solide (SAW) :

4-1- Définition du procédé SAW :

Le soudage électrique à l'arc sous flux solide (Submerged Arc Welding) électro- conducteur est réalisé à partir d'un arc électrique créé et entretenu entre le fil électrode d'apport de métal (de \varnothing 1,2 à \varnothing 6 mm) dévidé à une vitesse constante et la pièce à souder. Un dépôt continu de flux en poudre (parfaitement étuvé et de granulométrie homogène) recouvre l'extrémité du fil électrode et la pièce à souder. L'arc de soudage et le bain de fusion sont non visibles pendant le soudage. L'énergie calorifique de l'arc fait fondre localement la pièce

à assembler, le fil électrode et une partie du flux en poudre pour constituer le bain de fusion et après refroidissement le cordon de soudure recouvert d'un laitier solidifié protecteur.

4-2- Principe du procédé SAW :

L'arc jaillit entre l'extrémité d'un fil qui dévide à une vitesse contrôlée sert le métal d'apport et la pièce à souder. Le talus de poudre déposé au-dessus du joint à souder rend l'arc invisible. Une partie de cette poudre fond et forme un laitier qui protège le métal fondu contre l'oxydation.

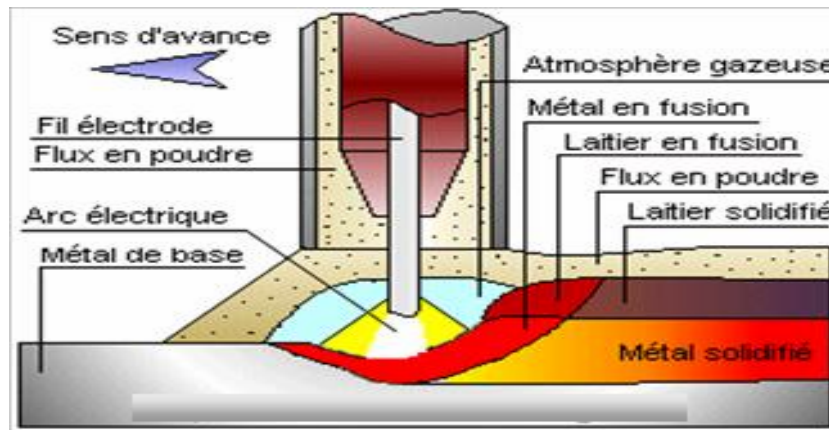


Figure VIII. 3 : Principe du procédé SAW.

Installation de soudage pour le soudage à l'arc automatique sous flux

- ❖ Un générateur de courant continu ou alternatif (50 à 1300 Ampères) ;
- ❖ Un banc de soudage ou une potence de soudage ;
- ❖ Une ou plusieurs têtes de soudage avec câble conducteur ;
- ❖ Une trémie d'alimentation du flux en poudre ;
- ❖ Une pince de masse avec câble conducteur ;
- ❖ Un aspirateur avec tamisage pour le recyclage du flux ;
- ❖ Une étuve spéciale à flux solide ;
- ❖ Un marteau à piquer et une brosse métallique ;
- ❖ Une tenaille ou coupe-fil pour couper le fil électrode.

5- Joints des soudures :

5-1- Définitions :

Joint à recouvrement à simple soudure :

C'est l'assemblage de deux tôles recouvrant, dans lequel les bords de recouvrement des deux tôles sont soudés avec soudure d'angle.

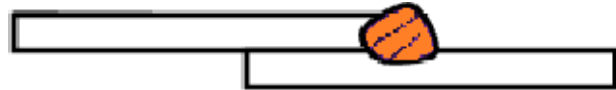


Figure VIII. 4 : Soudage par recouvrement simple.

Soudure bout à bout :

C'est une soudure placée dans une gorge entre deux tôles bout à bout. Les gorges peuvent être à bord droites, en V ou en U (simple ou double) et peuvent être à simple ou à double chanfrein.



Figure VIII. 5 : Soudage bout à bout.

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.

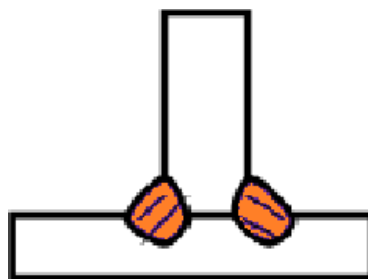
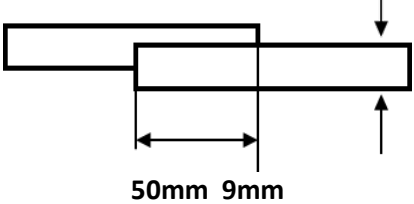
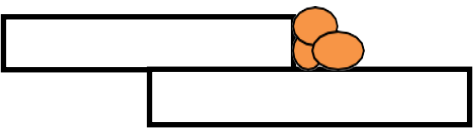


Figure VIII. 6 : Soudage d'angle.

5-2- Tableaux récapitulatifs de soudage Joints de soudure du fond :

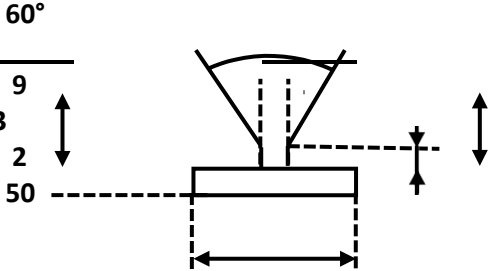
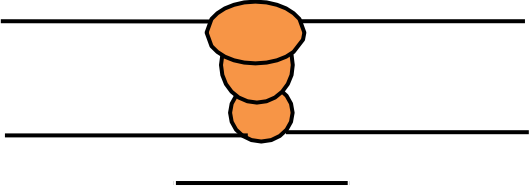
Tôles centrales :

Tableau VIII. 2 : Joints de soudure des tôles centrale.

Type d'assemblage	Par recouvrement
Mode de chanfreinage	/
Code utilize	ASME
Procédé de soudage	SMAW
Schéma de preparation	Schéma de passes
	

Tôles marginal :

Tableau VIII. 3 : joints de soudure des tôles marginale.

Type d' assemblage	Bout à bout
Mode de Chanfreinage	Entaille en V
Code utilize	ASME
Procédé de soudage	SMAW
Schema de preparation	Schema de passes
	

Joint de soudure de la robe Joint de soudure pied de la robe :

Tableau VIII. 4 : Joints de soudure pied de la robe.

Type d'assemblage	Soudage d'angle
Mode de Chanfreinage	/
Code utilise	ASME
Procédé de soudage	SMAW
Schema de preparation	Schema de passé

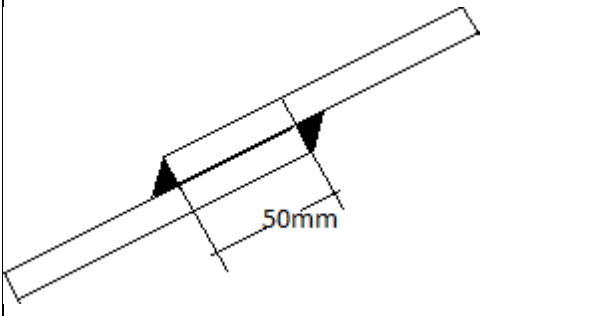
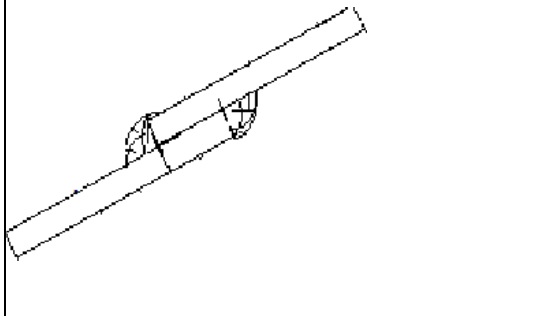
Corniche :

Tableau VIII. 5 : Joints de soudure horizontale des corniches.

Type d'assemblage	Bout à bout
Mode de Chanfreinage	Entail en V
Code utilisé	ASME
Procédé de soudage	SAW
Schéma de préparation	Schéma des passes

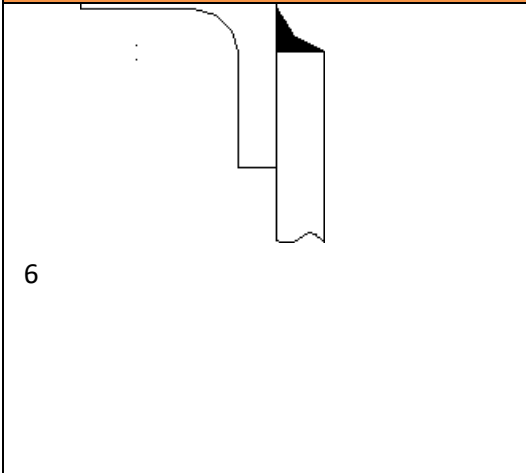
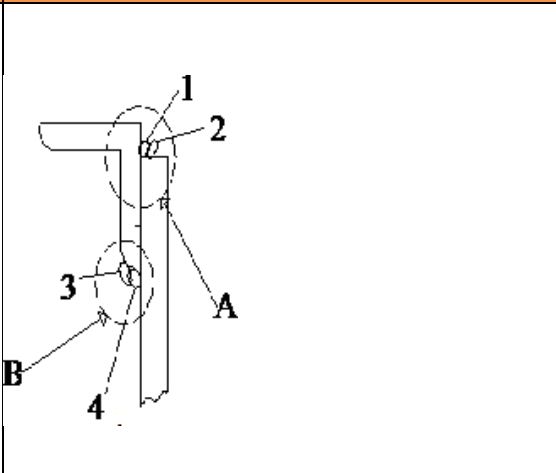
Joint de soudage de toit :

Tableau VIII. 6 : Joints de soudure de toit.

Type d'assemblage	Par recouvrement
Mode de Chanfreinage	/
Code utilise	ASME
Procéde de soudage	SMAW
Schéma de preparation	Schéma de passé
	

Joints de soudure de cornière de rive :

Tableau VIII. 7 : Joints de soudure de cornière de rive.

Schema de preparation	Schema de passes
	

6- Différents types de défauts du soudage :

6-1- Fissuration à chaud :

La fissuration à chaud survient au moment de la solidification du bain de fusion. Elle est plus susceptible d'apparaître en présence d'impuretés dans le métal de base (comme le soufre ou le phosphore). Si on doit souder un métal à risque, il est recommandé d'utiliser des électrodes à flux basique. Par ailleurs, le métal d'apport doit être compatible avec le métal de base de cordon de soudure doit être suffisamment large. Dans d'autres cas, si on relève trop brusquement l'électrode à la fin de la soudure, on peut provoquer l'apparition d'un cratère formant une cavité interne provoquant une fissure. On peut prévenir ces fissures en effectuant un léger retour en arrière avec l'électrode, mais aussi en préchauffant le métal, en diminuant l'écartement entre les pièces ou en nourrissant le cratère par un apport plus important de métal.

La préparation des joints joue un rôle majeur dans la prévention de la fissuration à chaud, car des joints trop étroits et plus profonds favorisent son apparition, tandis que des joints plus larges et de moindre profondeur en diminuent les risques.

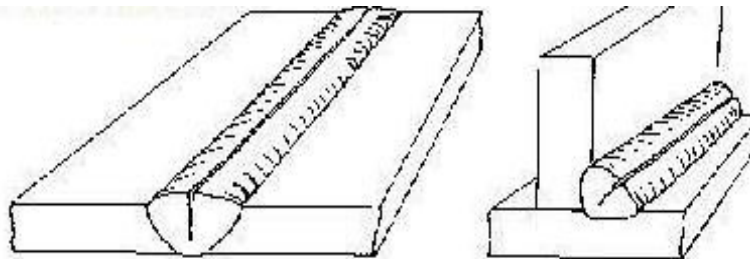


Figure VIII. 7 : Fissuration à chaud.

6-2- Fissuration à froid :

La fissuration à froid peut apparaître des heures, voire des jours après le soudage. Elle survient dans la zone de soudage ou dans la ZAT et est causée par l'hydrogène coincé dans la soudure ou par des tensions internes résiduelles importantes. Les aciers à forte teneur en carbone de même que les aciers faiblement alliés sont plus susceptibles de subir la fissuration à froid.

Plusieurs facteurs influent sur la vulnérabilité d'une pièce à la fissuration à froid, dont les suivants :

- ❖ La **trempeabilité** liée au carbone équivalent ;
- ❖ La présence d'hydrogène due à l'humidité sur l'enrobage ou sur la pièce ou à certains composés comme la rouille et la calamine ;
- ❖ L'humidité dans l'air ;
- ❖ Le refroidissement rapide de la pièce ;

- ❖ La présence de défauts à la surface de la pièce (inclusions, soufflures, trop grande épaisseur de la soudure, caniveau, etc.).

La meilleure prévention de la fissuration à froid est un préchauffage approprié des pièces à souder afin d'évaporer l'hydrogène contenu dans l'humidité présente sur la pièce (le préchauffage doit atteindre au moins 100 °C, soit la température d'ébullition de l'eau). On peut aussi choisir des électrodes préchauffées à basse teneur en hydrogène (basiques). On prend soin de refroidir les pièces susceptibles de fissuration à froid très lentement pour éviter l'apparition de tensions internes favorisant l'apparition de fissures.

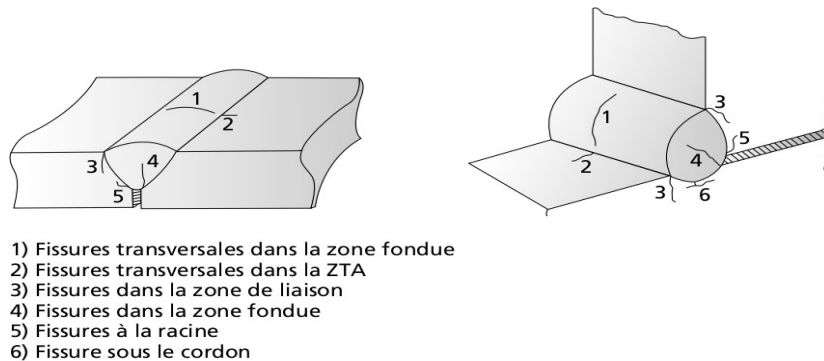


Figure VIII. 8 : Fissuration à froid.

6-3- Soufflures :

Les soufflures sont des défauts creux, généralement sphériques, formés par la présence de gaz. Quant aux piqûres, ce sont plus précisément des soufflures débouchantes (en surface). Les soufflures peuvent être causées par la présence de courants d'air, un manque de gaz de protection, la présence d'une substance grasseuse sur le métal de base ou le métal d'apport, l'obstruction de la buse, un mauvais angle de soudage, un arc trop long, de l'eau ou des impuretés dans le joint à souder.

Pour prévenir les soufflures, on doit s'assurer que la surface du métal de base est propre de même que l'équipement utilisé. Il est également important de bien protéger le bain de fusion. Une intensité de courant trop faible ainsi qu'une vitesse de soudage trop élevée peuvent aussi être responsables de la formation de soufflures. Enfin, les piqûres sont généralement causées par le contact entre l'électrode et le métal de base.

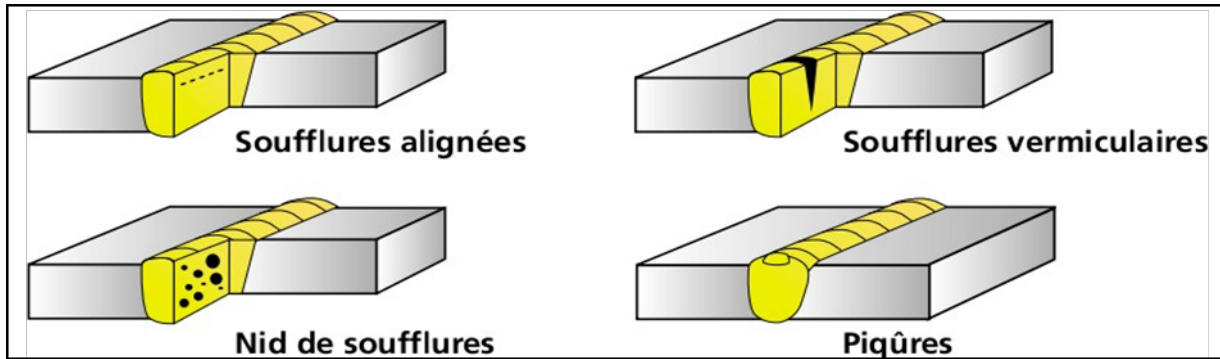


Figure VIII. 9 : Type de soufflure.

6-4- Pollution ferreuse :

La pollution ferreuse est une corrosion des aciers inoxydables causée par la destruction de la couche superficielle. Elle résulte généralement de l'utilisation d'outils qui ne sont pas en acier inoxydable (brosse ou autres) pendant l'usinage, la mise en forme ou le nettoyage. Dans d'autres cas, elle survient en conséquence des projections de métal fondu lors des opérations de soudage.

6-5- Inclusions :

Les inclusions désignent l'incorporation, dans le cordon de soudure, d'un composé étranger.

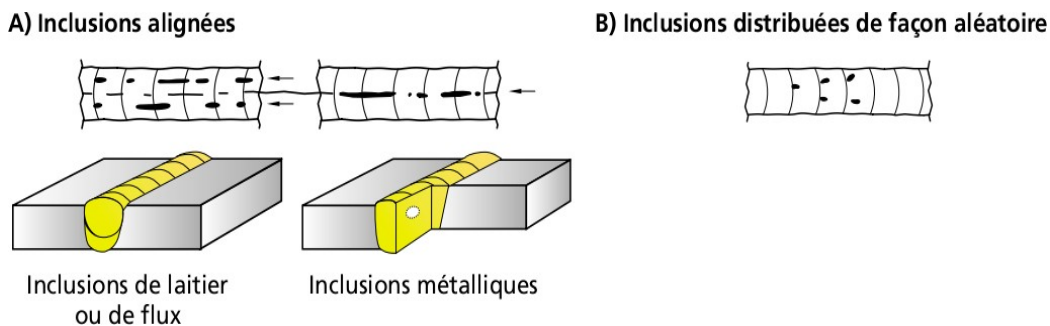


Figure VIII. 10 : Les inclusions.

6-6- Morsures et caniveaux :

Une morsure est un défaut caractérisé par le creusage ou une insuffisance du métal de base sur une partie du cordon. Un caniveau traverse une grande part du métal de base en raison d'une trop grande chaleur du métal d'apport par rapport à l'épaisseur ou à la densité du métal de base. Un courant trop fort ou une vitesse d'avance trop élevée favorise l'apparition de caniveaux. Un mauvais angle de soudage de même qu'une longueur d'arc incorrecte peuvent aussi être à l'origine de ce type de défaut.

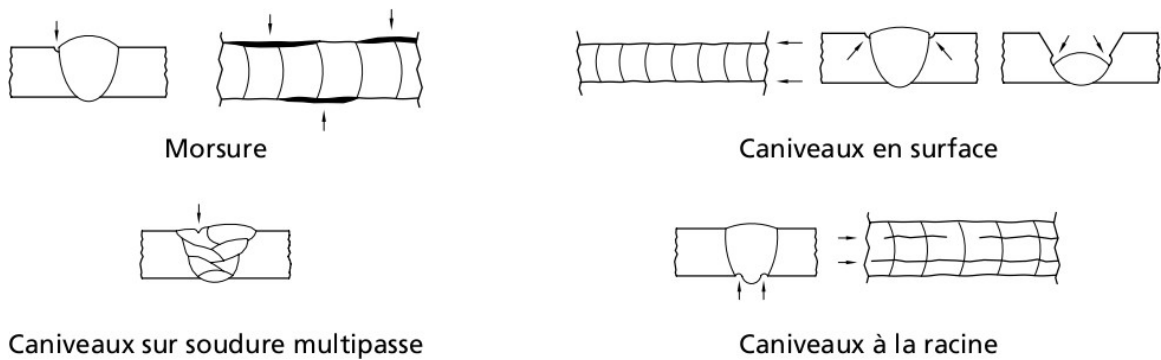


Figure VIII. 11 : Morsures et caniveaux.

6-7- Défauts de pénétration :

Un manque de pénétration constitue une absence partielle de fusion des bords à souder qui laisse un espace entre ceux-ci. Le manque de pénétration constitue souvent une conséquence d'un courant trop faible ou d'une vitesse d'avance trop élevée. Il est aussi possible que le chanfrein soit trop étroit ou absent, ou que l'arc soit trop long. Dans le cas de pièces épaisses, un préchauffage insuffisant peut aussi être à l'origine d'un manque de pénétration de la soudure.

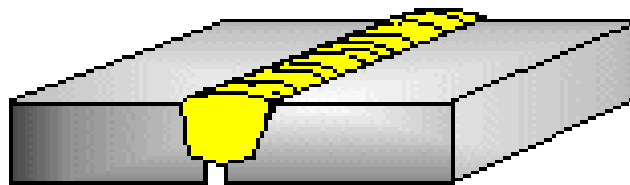


Figure VIII. 12 : Manque de pénétration.

Un excès de pénétration est un excès de métal à la racine. Pour une soudure multi passe, il s'agit d'un excès de métal à travers le cordon déjà déposé.

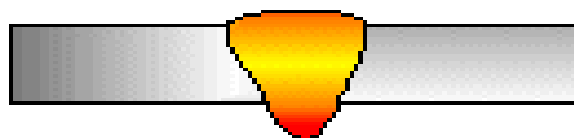


Figure VIII. 13 : Excès de pénétration.

6-8- Collage ou manque de fusion :

Dans ce cas, le métal de base est non fondu, ce qui crée un manque de liaison entre le métal déposé et le métal de base. Le manque de fusion diminue la section efficace de la soudure. Le collage peut être latéral, entre passes ou à la racine de la soudure. Ce type de problème

risque de survenir si le courant de soudage est trop faible ou si la vitesse est trop grande. Un bon préchauffage des pièces épaisses permet de prévenir ce défaut. Aussi, il peut être très difficile à repérer même avec les rayons X puisqu'il n'a que deux dimensions. On le retrouve plus fréquemment avec le procédé GMAW. Pour éviter ce problème, on doit s'assurer de la bonne procédure de soudage et effectuer des tests destructifs.

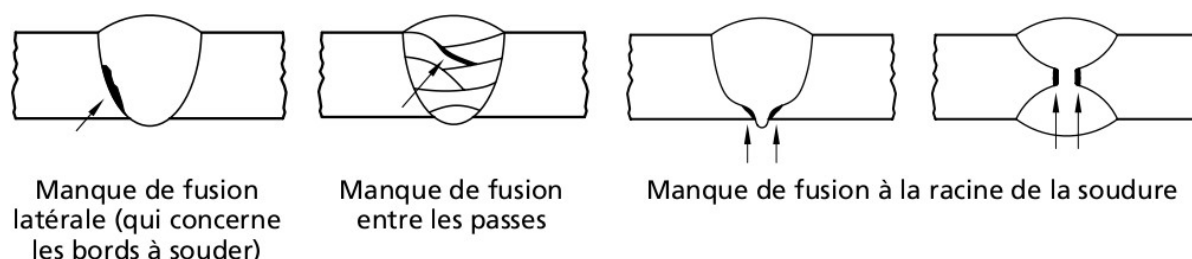


Figure VIII. 14 : Manque de fusion.

7- Contrôle du soudage :

7-1- L'examen visuel :

L'examen visuel est le plus utiliser pour les soudures il comprend soit direct ou indirect des surfaces exposer de la soudure est de métal de base.

L'examen visuel direct lorsque on place l'œil dans rayon de (150 mm a 600mm), de la surface examiner et d'un angle de 30° à la surface, comme le représente la figure ci- dessous.

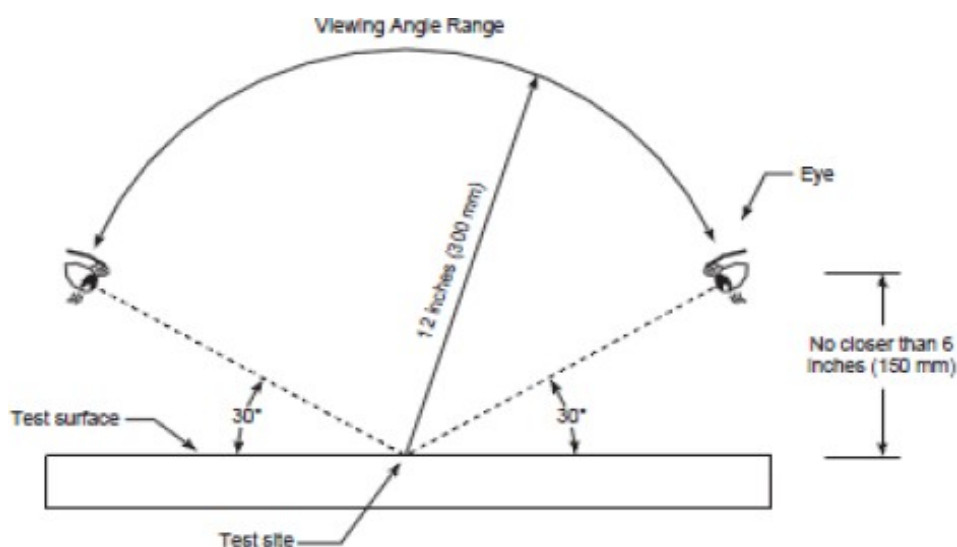


Figure VIII. 15 : L'emplacement de l'œil dans examen direct des soudures.

Dans l'examen visuel indirect peut utiliser des moyens aidés pour captée les défauts comme un télescope ou caméra ou autre instrument adaptés, dans des conditions bien éclairés pour inspection visuel efficace comme indique article 9 de ASME V.

7-2- Contrôle magnétoscopie (MT) :

L'examen des particules magnétiques est efficace pour localiser les débouchant proche de la surface, il est plus souvent utiliser pour évaluer les surfaces des joints de soudure, On fait parcourir la pièce par un champ magnétique, après avoir recouverte de poudre magnétique (ou en suspension dans liquide). La répartition non uniforme de la poudre (révélateur) signale la présence des défauts, à condition que ces dernières soient perpendiculaires au flux magnétique ainsi dévié.

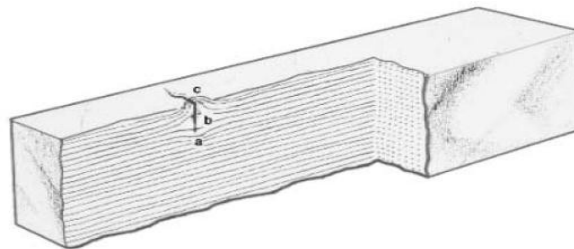


Figure VIII. 16 : Un défaut surfacique.

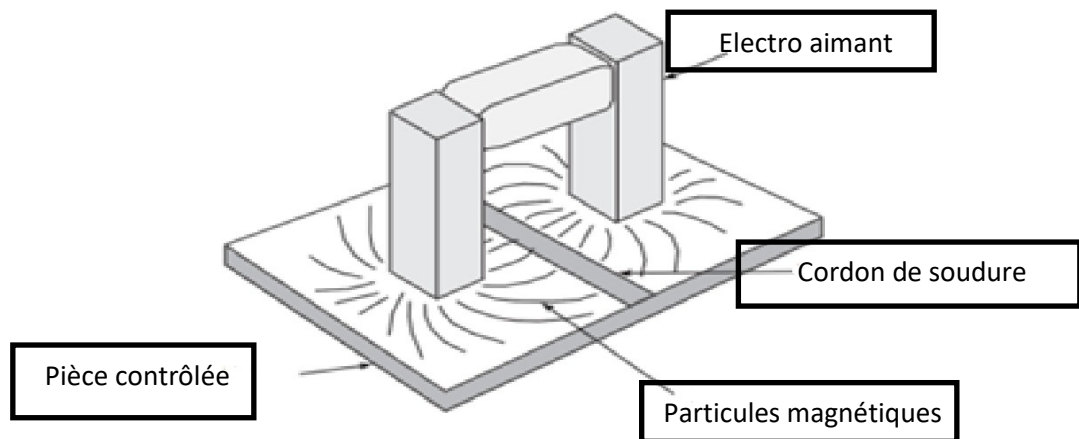


Figure VIII. 17 : Principe de contrôle magnétoscopique.

La section V de ASME article 7 et certain code ASME B31.1 ASME section VIII, énumère les exigences pour l'examen des particules magnétiques parmi ces conditions :

- ❖ Information sur la procédure d'examen ;
- ❖ Etalonnage requis des équipements ;
- ❖ Deux examens perpendiculaires l'un par rapport à l'autre ;

- ❖ Eclairage de surface minimum requis ;
- ❖ Désaimantation des pièces après chaque contrôle ;

7-3- Contrôle par ressuage (PT) :

Le ressuage (Pénétrant Testing en anglais) est, selon les professionnels, la méthode de CND la plus ancienne car l'une de ses premières utilisations daterait de la fin du XIX^{ème} siècle. Cette méthode est par définition la résurgence d'un liquide (ou d'un gaz) d'une discontinuité dans laquelle il s'était préalablement introduit au cours d'une opération d'imprégnation. Prolongement logique de l'examen visuel, cette méthode permet donc de détecter les discontinuités débouchant en surface de la pièce contrôlée sous forme d'indications colorées ou fluorescentes, observées respectivement sur un fond blanc ou sur un fond noir. Le ressuage comporte quatre phases comme le représente le (figure I-4).

Dont la première consiste à bien nettoyer la pièce à contrôler. En effet la détectabilité des discontinuités est en grande partie conditionnée par la qualité de la préparation des surfaces. Un liquide coloré et/ou fluorescent, appelé « pénétrant », est ensuite appliqué sur la surface à contrôler au cours de la deuxième phase. Il pénètre par capillarité à l'intérieur des défauts (fissures de corrosion, porosités, piqûres, etc.), nécessitant une durée de pénétration avant l'étape suivante.

Les quatre étapes de la technique CND par ressuage. Phase, l'excès de pénétrant en surface est éliminé par lavage suivi d'un séchage. La surface peut alors être recouverte d'une couche mince de « révélateur » qui adsorbe le pénétrant contenu dans les discontinuités, à la suite de quoi les indications de discontinuités apparaissent sous forme de taches colorées en surface. Ces taches étant plus larges que les discontinuités, il est alors plus simple de localiser ces dernières. Pendant cette quatrième phase, le révélateur fait « ressuier » le pénétrant, ce qui permet d'obtenir un bon contraste avec le pénétrant, facilitant ainsi l'observation visuelle. Le contrôle s'effectue en lumière blanche artificielle ou lumière du jour (ressuage coloré) ou sous rayonnement ultraviolet (UV-A). Cette technique permet de détecter des discontinuités ouvertes et débouchantes en surface sur tous matériaux métalliques, sur de nombreux matériaux minéraux (verre, céramique) et également sur certains matériaux organiques. Malgré la rigueur nécessaire à son utilisation, cette méthode a un faible coût de mise en œuvre et peut être considérée comme globale car elle peut contrôler toute la surface d'une pièce en une seule opération.

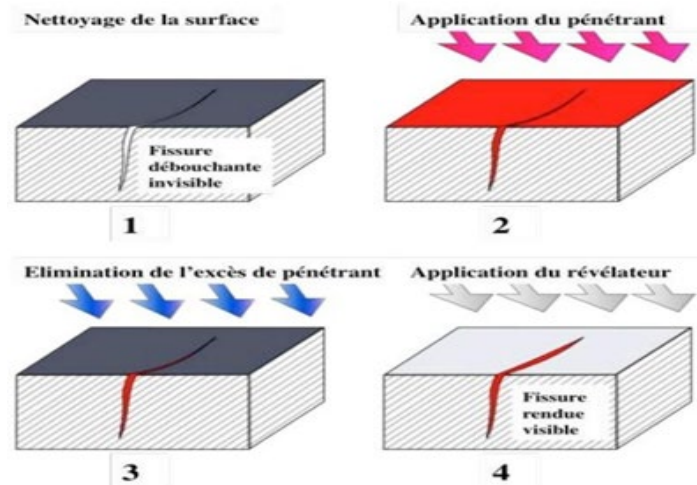


Figure VIII. 18 : Principe de contrôle par ressuage.

7-4- Contrôle radiographie (RT) :

Méthode de CND couramment employée pour contrôler l'intégrité de nombreux matériaux ou sonder le cœur d'une pièce. Le principe de cette technique est basé sur la formation d'une image qui traduit l'absorption subie par un rayonnement ionisant ayant traversé l'objet à contrôler. Le rayonnement, X ou γ transmis à travers la pièce vient ainsi impressionner un film qui fournit, après développement, une « image » de la zone traversée (figure 1.4). Comme pour le contrôle par ultrasons, cette méthode de CND permet de déceler essentiellement des défauts internes mais peut être utilisée pour inspecter des surfaces. La mise en évidence de ces défauts est assurée par une variation de densité optique sur le radiogramme (film radiographique irradié et développé), suite aux différences d'absorption des rayons entre une zone saine et une zone défectueuse. Les rayons X ou γ utilisés (rayonnements électromagnétiques) sont dits ionisants du fait de leur capacité à agir sur la matière et à y créer des charges électriques.

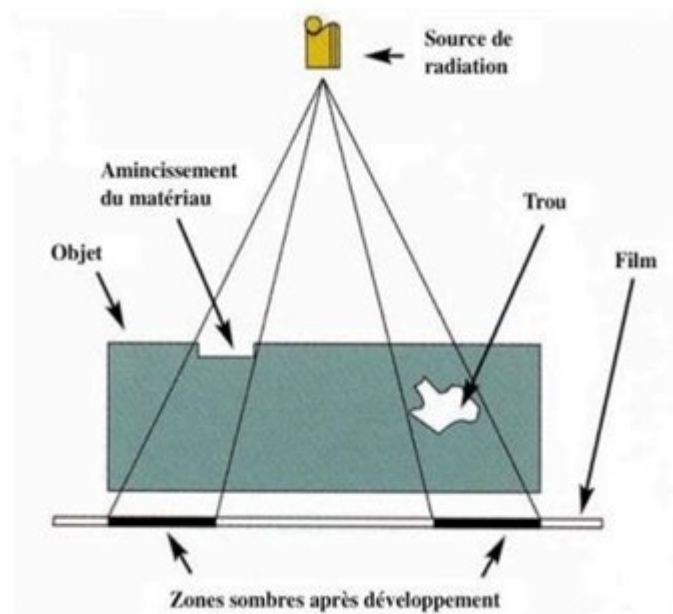


Figure VIII. 19 : Principe de contrôle par radiographie.

Et la technique d remplace le film dans les différents cordons de soudure comme indique la figure ci-dessous :

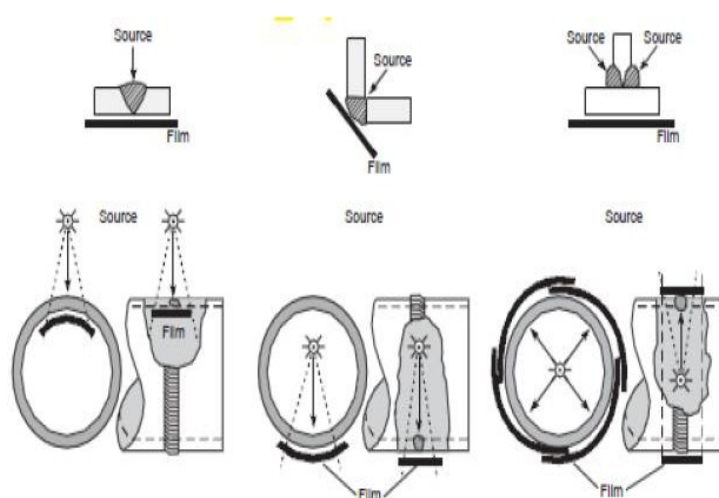


Figure VIII. 20 : L'emplacement de film dans les cordons de soudure.

7-5- Contrôle par ultrasons (UT) :

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission, la réflexion et l'absorption d'une onde ultrasonore (de volume, de surface ou guidée) se propageant dans la pièce à contrôler. Le train d'onde émis se réfléchit sur les défauts ou limites de la pièce puis revient vers le transducteur (mono ou multiélément, qui joue souvent le rôle d'émetteur et de récepteur), L'interprétation des signaux permet de positionner le défaut et de définir ses dimensions (au mieux une centaine de μm). Dans le cas des ondes de volume, fortement employées dans l'industrie, la sensibilité des mesures dépend principalement de la nature du défaut (par exemple plus sensible aux fissures qu'aux porosités) et peu de son orientation. Les ultrasons sont employés pour la détection en temps réel de défauts en surface et au cœur de nombreux matériaux, mais peuvent également servir à la mesure d'épaisseur et à la caractérisation des propriétés viscoélastiques des matériaux par des mesures de vitesse de propagation et d'atténuation. De manière un peu différente des mesures classiques de signaux réfléchis, certaines méthodes, telle que la méthode TOFD (Time Of Flight Diffraction) pour le contrôle de soudures, utilisent le principe de diffraction des ondes ultrasonores pour la détection et la caractérisation des défauts, comme indique la (figure I.6). Cette méthode présente une résolution spatiale élevée (environ $\pm 0.1 \text{ mm}$) et la possibilité de trouver des défauts aussi bien dans le volume de la matière qu'en surface. L'étape d'inversion est simple, du moins pour les pièces géométriquement et matériellement simples. Cette méthode nécessite cependant d'effectuer un balayage mécanique exhaustif de la pièce. Il est d'ailleurs souvent nécessaire de contrôler la pièce, à partir de plusieurs de ses surfaces, pour pouvoir faire une représentation tridimensionnelle des défauts. Mais elle permet, en particulier, de bien mesurer la longueur des défauts dans la direction perpendiculaire aux surfaces.

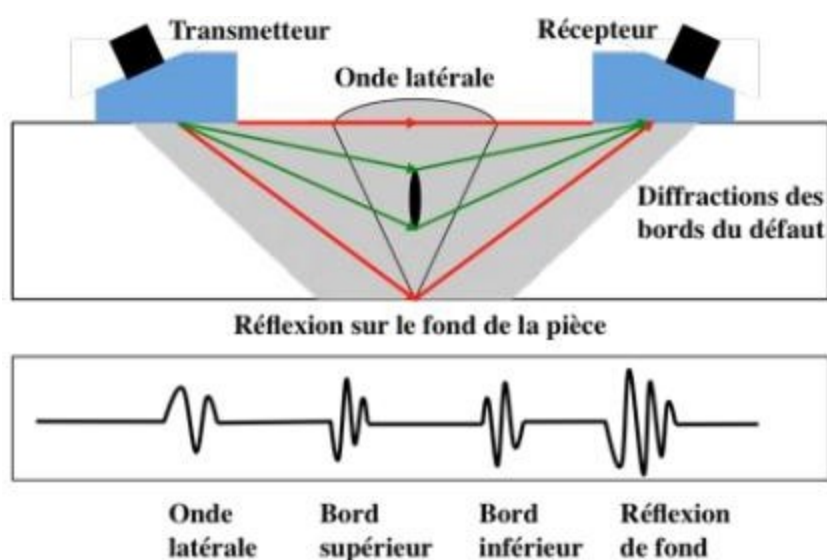


Figure VIII. 21 : Principe de contrôle ultrason.

8- Choix de contrôle pour notre réservoir :

- ❖ **Fond** : sont contrôlée par visuel.
- ❖ **Robe** : le contrôle visuel, ressuage, radiographie
- ❖ **Toit** : visuel.

9- Conclusion :

Ce chapitre a introduit les différents type de soudage utiliser dans notre projet et tous les caractéristiques et procédures liées au chaque procéder de soudage et les principes de fonctionnement et différents défauts des soudages rencontre au cours de soudage et après le soudage.

Et nous introduisons les techniques de contrôle non destructif et les besoins de domaine de soudage comme contrôle pour éviter les problèmes de fonctionnement de de tous les pièces qui contiennent.

CHAPITRE IX :

Essais et protection

Chapitre IX : Essais et Protection

1. Introduction :

Après avoir construit notre réservoir, il serait judicieux de faire des essais afin de s'assurer de la résistance du montage métallique.

Et comme mesure de protection, plusieurs dispositifs sont à préconiser à savoir ; la peinture, système de refroidissement, système d'extinction de feu...etc.

2. Essais :

Les essais, en vue de procéder à la réception provisoire d'un bac, comprennent :

- ❖ Essai du fond
- ❖ essai sur renforts des tubulures
- ❖ Essai d'étanchéité de la robe
- ❖ Essai du toit
- ❖ Contrôle de tassement de la fondation du réservoir

2.1.Essai du fond :

L'épreuve d'étanchéité du fond du réservoir sera exécutée à l'aide d'une boîte à vide métallique.

Cette boîte est équipée d'une fenêtre vitrée sur sa surface supérieure, la partie inférieure est Appliquée contre la surface du fond du réservoir par l'intermédiaire d'un joint en caoutchouc Spongieux servant de ventouse. Elle est pourvue de réservations pour la connections des flexibles.

Le vide ou dépression sera obtenu au moyen d'une pompe a vide. La dépression devra être au minimum de 0,15 Kg/Cm².

De l'eau de savon, de l'huile de lin ou toutes autres substances pouvant détecter des fuites doit être appliqué sur les joints de soudure.

Toute porosité éventuelle sera mise en évidence par la présence de bulles d'air.

La présence d'une tache d'humidité à l'intérieur du fond du réservoir est l'indice d'une fuite.

2.2.Essai sur renforts des tubulures :

Avant le remplissage du réservoir avec de l'eau, il sera procédé aux essais des renforts des tubulures (telle que trou d'homme) une pression pneumatique de 1,05 Kg/Cm² sera appliquée entre la virole du réservoir et la plaque de renfort à l'intérieur et à l'extérieur du réservoir.

Pendant la mise en pression de chaque espace, de l'eau de savon, de l'huile de lin ou autre matière appropriée pour la détection des fuites devra être appliquée à toutes soudures de fixation autour du renfort, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du réservoir.

2.3.Essai du toit :

Le réservoir sera rempli d'eau jusqu'à son niveau supérieur théorique de liquide, on procédera par la Méthode suivante :

Remplissage de la robe avec de l'eau en quatre (04) étapes correspondantes à 25, 50, 75 et 100% de la capacité du réservoir, il sera observé un palier de stabilisation de la charge correspondante à 24 heures entre chaque étape.

- ❖ Les suintements seront aussitôt repérés au crayon de chantier en vue de reprises immédiates, par saignée à la meule et réfection des soudures sur toute la largeur défectueuse.
- ❖ On examinera aussi s'il y a des traces de suintements à l'extérieur entre la tôle de fond et la fondation

2.4.Essai d'étanchéité de la robe :

L'épreuve d'étanchéité du toit du réservoir sera exécutée à l'aide d'une boîte à vide métallique.

Cette boîte est équipée d'une fenêtre vitrée sur sa surface supérieure, la partie inférieure est appliquée contre la surface du fond du réservoir par l'intermédiaire d'un joint en caoutchouc spongieux servant de ventouse. Elle est pourvue de réservations pour la connections des flexibles.

Le vide ou dépression sera obtenu au moyen d'une pompe à vide. La dépression devra être au minimum de 0,15 Kg/Cm².

De l'eau de savon, de l'huile de lin ou toutes autres substances pouvant détecter des fuites doit être appliqué sur les joints de soudure.

Toute porosité éventuelle sera mise en évidence par la présence de bulles d'air.

La présence d'une tache d'humidité à l'intérieur du fond du réservoir est l'indice d'une fuite.

2.5.Contrôle de tassement de la fondation du réservoir :

Le maître de l'œuvre vérifiera avec le génie civil la tenue des fondations soit :

1) La stabilité de la fondation par repère ou nivellement à la lunette avec les mesures faites:

- ❖ Avant remplissage
- ❖ Après remplissage
- ❖ Après vidange

Si le repérage se fait aux moyens d'appareils fixés au sol. La fixation de ces derniers sera d'un (01) mètre de la robe.

- 2) Stabilité du matelas goudronné. Vérification de l'écrasement qui doit être régulier et qu'il n'y a pas de manque au bord de la fondation.
- ❖ Durant toutes les phases de l'essai hydraulique, la fondation sous le manteau devra conserver son horizontalité avec une tolérance maximum de ± 3 mm tous les neuf (09) mètres de circonférence et ± 6 mm sur deux points de la circonférence diamétralement opposés.
 - ❖ L'écart maximum de verticalité de la partie supérieure du manteau par rapport à la base ne devra pas excéder 1/200 de la hauteur totale du réservoir.

3. Protection :

3.1. Protection par nettoyage :

Avant le début de travail, on procède au nettoyage de toutes les surfaces du réservoir pour qu'elles deviennent convenables pour le travail spécifié :

- ❖ Les huiles, graisses, poussières, etc.seront éliminées par moyens appropriés.
- ❖ La poussière sera enlevée avec les brosses à poils douces et propres, en passant à l'aspirateur, ou par d'autres méthodes.
- ❖ Avant la mise en œuvre de l'abrasif, les matières contaminants seront enlevées des surfaces. L'huile et graisse seront enlevées par des solvants.
- ❖ Les ouvertures de capacités, équipements, tuyauteries ou autres qui ne sont pas concernés par le revêtement seront correctement protégées contre les possibles pénétrations d'abrasif.
- ❖ Les surfaces à revêtir ou si les surfaces nettoyées sont mouillées ou contaminées, la surface sera ré-nettoyée.
- ❖ L'abrasif sera sec, propre exempt de contaminants et huiles. La dimension des particules sera capable de produire un profil à la surface et satisfait aux exigences du fournisseur du revêtement intérieur.

Les abrasifs pour nettoyage seront en accord avec

3.2. Protection par revêtements (peintures) :

Avant le commencement des travaux de revêtement, tous les systèmes de revêtements seront appliqués sur différents types de supports représentatifs des surfaces à revêtir. Ces tests seront effectués sur des surfaces représentant ceux qui seront rencontrés lors des travaux. Ces tests serviront à définir :

- ❖ Les préparations de surfaces.
- ❖ Les meilleures méthodes de mise en œuvre du revêtement.
- ❖ Les choix d'équipement.

❖ Les délais entre couches.

3.3. Protection par le système :

Le contour du sommet de réservoir est équipé par des (**extincteurs**) qui lance la mousse spéciale contre les incendies (feux, fuites de gaz...etc.)

3.4. Protection par le système de refroidissement :

Ce system est composé d'un tuyau percé et placé sur la surface de la robe, sa fonction principale est diminuée la température de produit stocké.

4. Mise à la terre :

C'est une mesure de sécurité contre l'excès de courant naturel (foudre...).

5. Conclusion :

L'essai hydrostatique est le plus défavorable pour le réservoir en générale, contrairement aux autres essais qui sont spéciales aux éléments appropriés.

Le cout complémentaire du projet est équilibré par la durée de vie du réservoir.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce projet, nous avons effectué les étapes de calcul et de vérification des éléments constructifs d'un bac de stockage à toit fixe. Pour cela, nous commençons par des calculs préliminaires pour dimensionner des tôles du réservoir à des valeurs très approchées à la réalité, et vérifier sa stabilité sous différents directions et sollicitations. Ensuite, nous avons dimensionné la charpente du toit, sans oublier le montage du réservoir et leurs accessoires, soudage, essais et contrôle.

Toutes ces études sont appliquées conformément aux normes et règlements API650 dernière version 2013, ASME, ASTM, NV65, Memothec, RNVA99 et RPA99 version 2003, eurocode03
Le travail réalisé, nous permet de mettre en pratique les connaissances acquises durant le cursus universitaire dans le domaine du génie mécanique et en particulier en ouvrage chaudronnées et piping.

Le stage pratique effectué au société GTP« REGHAIA » dans le but d'améliorer ou bien réalisé nous connaissance théorique et de s'adapter avec le milieu industriel.

Finalement, nous souhaitons que notre travail soit réalisable et conforme à la réglementation.

ملخص :

مشروعنا هو دراسة و ابعاد خزان تخزين اسطواني بسقف ثابت لتخزين طاقة انتاجية تبلغ 37000 م³ وقطر 52 م و الارتفاع 18,86 م في حاسي الرمل
لقد تم استخدام قواعد ASME و ASTM و API650 و RPA99 و 56VN

الكلمة المفتاحية: خزان ذو سقف ثابت

Summary :

Our project is to study and dimension a cylindrical storage tank with fixed roof to store oil product capacity 37000 m³ diameter 52m and height 18,86m located in hassi r'mel

API650 std, ASME, ASTM, NV65, RPA99 rules and codes have been used .

Key word: fixed roof tank

Résumé :

Notre projet c'est de faire l'étude et le dimensionnement d'un bac cylindrique de stockage à toit fixe pour stocker produit fioul de capacité 37000 m³ diamètre 52 m et la hauteur 18,86 m implantée à Hassi r'mel.

On a utilisés des règlements et codes API650 std, ASME, ASTM, NV65, RPA99.

Mot clé : reservoir à Toit fixe