

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
EN GENIE MECANIQUE

OPTION : OUVRAGES CHAUDRONNES ET PIPING

Thème

ETUDE ET CONCEPTION D'UN RESERVOIR
SPHERIQUE D'UNE CAPACITE DE 1280 M³
POUR LE STOKAGE DU PROPANE

Présenté par :

ZEMMOURI Mohamed Amine

BOUCHAKOUR Walid

Promoteur :

M_r IFRAH . R

Encadreur :

M_r ZEGHLOUL

Remerciements

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

Nous exprimons nos sincères remerciements :

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

A notre promoteur Mr IFRAH R. pour leurs aides.

A tous les ingénieurs du bureau d'engineering à GTP

*A l'ensemble des enseignants du département de Génie
mécanique de FSI.*

Ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué

À l'accomplissement de ce travail.



Dédicaces

A mes très chers parents

Pour leurs précieux conseils et leurs grands sacrifices

Durant toutes mes années d'études

Je leur dis merci pour le soutien et l'encouragement.

A mes chers frères et mes chères sœurs

A Toute la famille : ZEMMOURI

A mes chers amis et à tous mes camarades de MOCP I7

A tous les professeurs qui m'ont guidé durant

Toutes mes années d'études

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

ZEMMOURI Med Amine



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents, pour leurs sacrifices durant

Toutes mes années d'études.

A mes frères

A mes très chères sœurs

A tous la famille BOUCHAKOUR

A tout le groupe mocrp 17

A tout (es) mes ami(e)s sans exception

Et à tous ceux qui m'ont accordé

Leur aide pour mener ce travail à bonne fin.

BOUCHAKOUR Walid

SOMMAIRE

Partie 01 : Introduction Générale.....	1
1. Généralités sur le stockage :.....	2
2. But du stockage :.....	2
3. Classification des réservoirs :.....	3
4. Pourquoi utiliser le réservoir sphérique ?.....	4
Partie 02 : Présentation de l'entreprise ENGTP.....	5
1. Présentation de l'entreprise ENGTP :.....	5
2. Historique de l'entreprise :.....	5
3. Missions de « L'ENGTP » :.....	6
4. Organigramme général de L'ENGTP :.....	6
5. Les domaines d'activités de l'ENGTP :.....	7
6. Organisation de l'entreprise :.....	7
7. Politique HSE :.....	7
8. L'Environnement :.....	8
9. La procédure du travail :.....	9
10. Pourquoi l'ENGTP ?.....	9
Partie 03 : Présentation de notre sujet.....	10
1. But du travail :.....	10
2. Données relatives au projet :.....	11
Partie 04 : Mode de stockage de gaz.....	13
1. Stockage sous pleine pression :.....	14
2. Stockage semi-réfrigère :.....	14
3. Stockages réfrigérés ou cryogéniques :.....	14

Chapitre I : Choix des matériaux et Calcul du réservoir

Partie 01 : Choix des matériaux	16
I.1 Introduction :.....	16
I.2 La qualité des aciers :.....	18
I.3 Critères de choix des matériaux :.....	18
I.3-1 Composition chimique :.....	21
I.3-2 Caractéristiques mécaniques :.....	21
I.4 Conclusion :.....	21
Partie 2 : Calcul du Réservoir	22
I.1 Présentation du code de calcul :.....	22
I.2 Calcul des épaisseurs des parois par ASME	22
I.2-1 Cas de service :.....	22
I.2-2 Cas d'épreuve :.....	25
I.3 Conclusion	27

Chapitre II : Etude Climatique et Sismique

Partie 01 : Etude Climatique	28
II.1 Introduction.....	28
II.2 Etude au vent :.....	28
II.2-1 Vent horizontal	28
II.2-2 Calcul des réactions horizontales aux sommes des poteaux FH	30
II.2-3 Calcul des réactions verticales aux sommes des poteaux FV	31
II.2-4 Bilan des forces sous l'action du vent	31
Partie 02 : Charges de la neige	35
a- Donnés de calcul	35
b- Action de la charge de neige	35
II.3 Conclusion	35
Partie 03 : Etude Sismique	36
II.1 Introduction	36
II.2 Méthodes de calcul	36
II.2-1 Critères de choix ide la méthode	36

II.3 Classification du site	37
II.4 L'appareillage	37
II.5 Méthode statique équivalente	38
II.5-1 Principes de la méthode	38
II.5-2 Calcul de la force sismique totale	38
• Détermination du coefficient A	38
• Détermination du facteur d'amplification moyen D	38
• Calcul du coefficient η	39
• Calcul de la période fondamentale T	39
• Détermination du facteur de qualité Q	40
• Détermination du poids total de la structure W	41
• Détermination du coefficient de comportement global R	42
II.6 Conclusion	42

Chapitre III : Etude de la Charpente et d'escalier

Partie 01 : Etude de la Charpente.....	44
III.1 Introduction	44
III.2 Conception et dimensionnement des poteaux	44
• Volume de L'acier de la structure sphérique V	44
• Poids de la sphère W_s	44
• Surcharge d'exploitation (poids de propane) W_{exp}	45
III.2-1 Combinaison des charges	45
III.2-2 vérification des poteaux	46
III.2-3 Contrainte sollicitons les poteaux	46
III.3 Vérification de la résistance à la compression	47
III.3-1 Vérification de la résistance à la compression	47
III.4 Etude des éléments secondaires : (contreventement).....	49
III.4-1 Réactions aux pieds de poteaux	49
III.4-2 Calculs des efforts internes	50
III.4-3 Section des diagonales	52
III.4-4 Vérification des diagonales à la traction	52
III.5 Conclusion	53

Partie 02 : Calcul de l'escalier	54
III.1 Etude de vent	54
III.1-1 L'action résultante	54
III.2 Dimensionnement des escaliers	56
III.2-1 Dimensionnement des marches	56
a. Détermination des charges	56
b. Détermination des contraintes	58
c. Combinaison des charges	59
III.3 Dimensionnement des limons	59
III.3-1 Prédimensionnement des limons	59
III.3-2 Charge de compression	60
III.3-3 Contrainte de compression	60
III.3-4 Charge de flexion	60
III.3-5 Contrainte de flexion	61
III.4 Dimensionnement des paliers des escaliers	61
III.4-1 Vérification de L'UAP 200	61
III.4-2 Contrainte des charges	62
III.4-3 Dimensionnement de poteau d'escalier	62
III.4-4 Vérification	64
III.5 Conclusion	65

Chapitre IV : Fondation des Poteaux

Etude D'ancrage des Poteaux	67
IV.1 Introduction	67
IV.2 Calcul du Pied de Poteau encasté	69
IV.3 Général	70
IV.4 Géométrie	70
IV.4-1 Poteau	70
IV.4-2 Platine de prescellement	70
IV.4-3 Ancrage	71
IV.4-4 Bêche	71
IV.4-5 Raidisseur	72
IV.4-6 Coefficients de matériau	72
IV.4-7 Semelle isolée	72

IV.4-8 Soudures.....	72
IV.5 Efforts.....	73
IV.6 Résultats.....	73
IV.6-1 Zone comprimée.....	73
IV.6-2 Zone tendue.....	74
IV.6-3 Contrôle de la résistance de l'assemblage.....	78
IV.6-4 Cisaillement.....	79
IV.6-5 Contrôle des raidisseurs.....	82
IV.6-6 Soudures entre le poteau et la plaque d'assise.....	82
IV.6-7 Soudures verticales des raidisseurs.....	83
IV.6-8 Soudures horizontales des raidisseurs.....	83
IV.6-9 Rigidité de l'assemblage.....	83
IV.6-10 Composant le plus faible.....	85
IV.7 Conclusion	85

Chapitre V : Montage de la Sphère

Chronologie de montage de la sphère.....	87
V.1 Introduction	87
V.2 Description des différents éléments de la sphère	87
V.2-1 Equipement de montage	88
V.2-2 Mécanisation lourde	88
V.2-3 Equipement spécial	88
V.2-4 Equipement habituel	88
V.2-5 Appareil de montage spécial pour le contrôle	88
V.3 Terrassement du chantier	89
V.4 Ordre du montage des segments de la sphère	89
V.5 Description de montage des zones	89
V.5-1 Réalisation de la fondation et le montage du pilier central	89
V.5-2 Montage de la zone équatoriale de la sphère	90
V.5-3 Montage de la calotte inférieure de la sphère sans le segment central	91
V.5-4 Montage de la calotte supérieure de la sphère et de la plate-forme supérieure	91
V.5-5 Enlèvement du pilier central	91
V.5-6 Montage du segment central n° 1 de la calotte inférieure	92
V.6 Conclusion	95

Chapitre VI : Soudage et Contrôle

Partie 01 : Soudage	97
VI.1 Génialités	97
VI.2 Procédés et détails de soudage	98
VI.3 Choix d'un procédé	99
VI.4 Le Soudage manuel à l'arc à l'électrode	100
VI.4-1 Définition du procédé	100
VI.5 Qualifications des modes opératoires de soudage	102
VI.6 Soudabilité de l'acier utilisé(A537)	102
VI.7 Rôle et responsabilité du soudeur	105
VI.8 Choix de l'électrode	105
VI.9 L'importance de l'opération	105
VI.10 Facteurs du choix d'une électrode	106
VI.11 Comment choisir les électrodes	107
VI.12 Difficultés en cours de soudage à l'arc	108
VI.13 Préparation des joints de soudures	109
VI.14 Vérification de la qualité des électrodes	111
Partie 2 : Contrôle de soudage	112
VI.1 Introduction	112
VI.2 Conditions générales	112
VI.3 Défauts des soudures	113
VI.3-1 Avant le soudage	113
VI.3-2 Pendant le soudage	113
VI.4 Contrôle soudage	115
VI.4-1 Le contrôle visuel	115
VI.4-2 Procédés de contrôle plus simple	116
VI.4-3 Le contrôle par ressuage	116
VI.4-4 Contrôle d'étanchéité	117
VI.4-5 Contrôle externe des joints	117
1. Contrôle dimensionnel	117
2. Contrôle visuel	117
3. Contrôle par ressuage des fissures de surface	117
4. Contrôle magnétique	117

VI.4-6 Contrôle interne des joints	117
1. Contrôle par radiographie	117
2. Contrôle par ultrason	118
VI.5 L'essais	118
VI.5-1 Essai hydrostatique	118
VI.5-2 Essai pneumatique	119
VI.5-3 Essais mécaniques	119
VI.6 Conclusion	120

Chapitre VII : Traitement Thermique

Traitement Thermique.....	122
VII.1 Introduction	122
VII.2 Procédure du traitement thermique	122
VII.2-1 Régime du traitement thermique	123
VII.2-2 Mode de chauffage	123
VII.2-3 Contrôle de la température	124
VII.2-4 Alimentation en gaz	124
VII.2-5 Dilatation et déplacement des pieds de la sphère pendant la chauffe	124
VII.3 Procédure de mis-en marche du bruleur	124
VII.4 Conclusion	126
Conclusion Générale.....	128
BIBLIOGRAPHIE.....	129

Liste des Figures

Fig-1 : sphère géométrie principale.....	10
Fig-2 : Disposition des poteaux.....	11
Fig - 3 : Les Trois Mode De Stockage.....	13
Fig I-1 : Température d'ébullition du produit stocké et matériaux employés.....	17
Fig I.2 : épaisseur des tôles.....	27
Fig II.1 : Répartition des efforts du vent sur les souquets des poteaux.....	31
Fig II.2 : Panneau de stabilité verticale.....	31
Fig II.3 : Le panneau le plus chargé.....	34
Fig III.1 : Modalisation d'un poteau encastré des deux extrémités.....	47
Fig III.2 Figure de la stabilité.....	49
Fig III.3 Palée de stabilité.....	49
Fig III.4 Toitures isolées à un versant vent normal au bord horizontal.....	55
Fig III.5 Vue de l'escalier.....	56
Fig III.6 Dimensions des marches.....	57
Fig III.7 Les composants d'escalier.....	57
Fig III-8 Dimensions de charge d'un escalier.....	58
Fig III.9 Dimensions de charge d'un limon.....	60
Fig III.10 Modélisation d'un poteau au flambement	63
Fig IV.1 : Dimension des tiges d'ancrages.....	69
Fig V.1 : Principe du nœud à trois tôles.....	92
Fig V.2 : Montage des segments poteaux.....	93
Fig V.3 : Montage de la zone équatoriale.....	93
Fig V.4 : Montage des segments de la zone équatoriale.....	93
Fig V.5 : Accessoire (les lames).....	94
Fig V.6 : Accessoire (les vérin).....	94
Fig V.7 : Accessoire (les clames)	94
Fig V.8 : la sphère.....	94
Fig VI.1 : principe de soudage.....	97
Fig VI.2 : Schéma de principe à électrode enrobée.....	100
Fig VI. 3 : Schéma d'une électrode enrobée.....	102

Fig VI.4 Diagramme de Seferian.....104
Fig VI.5 : disposition des joints de la soudure pour la sphère.....110
Fig VI.6 les joints de soudures.....111
Fig VI.7 Méthodes de ressuage.....116

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Composition Chimique.....	21
Tableau I.2 : Caractéristiques mécaniques.....	21
Tableau I.3 : les épaisseurs dans le cas d'épreuve	26
Tableau I.4 : Calcul de l'allongement de la fibre extrême.....	26
Tableau II.1 : de le ponds total de la sphère.....	42
Tableau III.1 : les caractéristiques de profilé.....	47
Tableau III.2 : Efforts internes dans les barres.....	51
Tableau III.3 : Les caractéristiques de profil UAP250.....	59
Tableau IV.1 : Tableau des charges.....	67
Tableau IV.2 : Tableau de Combinaisons des charges.....	68

NOTATIONS UTILISEE

Majuscules latines

A	Section brute d'une pièce
A_{net}	Section nette d'une pièce
E	Module d'élasticité longitudinale
F	Force en générale
$F_{t.rd}$	Résistance d'un boulon on traction
$F_{b.rd}$	Résistance a la pression diamétrale
G	La charge permanent
I	Moment d'inertie
K_c	Coefficient de Rigidité poteaux
$K_{y.z}$	Coefficient de Flambement-flexion
L	Langueur
M_{sd}	Moment fléchissant
M_{rd}	Moment résistant par unité de longueur dans la plaque d'assise
M_{pl}	Moment plastique
M_{cr}	Moment critique
N_{sd}	effort normal
$N_{t.sd}$	effort normal de traction
$N_{c.sd}$	effort normal de compression
N_{pl}	effort normal plastique
N_u	effort normal ultime
Q	charge d'exploitation
W_{pl}	Module de résistance plastique
W_{el}	Module de résistance élastique

Minuscules latines

b_{eff}	Largeur efficace
c_i	Coefficients
d	Entraxe
d_o	Diamètre de perçage des trous de boulon
f	flèche d'une poutre
f_y	Limite d'élasticité d'un acier
f_{yb}	Limite d'élasticité d'un boulon

f_j	Résistance de contact de la liaison
h	hauteur
i	rayon de giration
k_w	facteur de longueur
n	nombre de boulon
t_w	épaisseur
t_p	épaisseur platine

Minuscules grecques

χ	Coefficient de réduction de flambement
β_w	Facteur de corrélation
β_M	Facteur de moment uniforme équivalent
β_j	Coefficient relatif a la liaison
γ_{Mi}	Coefficient de sécurité
γ_{Mb}	Coefficient de sécurité de boulon
$\bar{\lambda}$	Elancement
σ	Contrainte normale
τ_e	Contrainte limite de cisaillement en élasticité
ε	Coefficient de réduction élastique de l'acier $\varepsilon = \left(235/f_y\right)^{0,5}$
η	Facteurs de distribution
ψ	R apport de contraintes

Introduction Générale

Partie 01 : Introduction Générale

Le stockage est une préoccupation majeure au sein de toute entreprise de production, notamment des produits stratégiques utilisés comme carburant et source d'énergie pour le chauffage par exemple le gaz propane, pour répondre en permanence aux besoins en approvisionnement des clients et des consommateurs. En effet, le choix du type de réservoirs de stockage repose principalement sur ce besoin bien évident et aussi sur les différentes contraintes qu'elles soient d'ordre réglementaire, technique...etc. dans le domaine de stockage des liquides ou de gaz, on distingue plusieurs formes de réservoir, cylindriques verticaux, cylindriques horizontaux, sphériques...etc.

Les avantages des réservoirs sphériques sont :

- Le bon comportement de la forme sphérique face à la distribution des contraintes.
- Une économie de matière qui se traduit par une utilisation optimale et rationnelle.
- Le souci de pouvoir stocker la plus grande quantité des produits stratégiques qui exigent des conditions spécifiques de température et de pression.

Le sujet a été, donc, abordé essentiellement sous deux aspects essentiels qui sont la chaudronnerie et la charpente métallique. Pour la chaudronnerie, la construction sera analysée en tenant compte des exigences dans ce domaine, à savoir la nature de la tôle, sa forme, les caractéristiques chimiques et mécaniques des matériaux ainsi que la nature du produit à stocker

En ce qui concerne la charpente métallique, le problème a été élaboré en étudiant les caractéristiques des matériaux des supports, de leur comportement en situation critique, tout en tenant compte du poids de la sphère en service ou en épreuve.

Les calculs ont été conformément aux normes et les règle édictée pour ce genre de stockage, à savoir

- ✓ ASTM (American society for testing and material) : pour le choix du matériau de la robe du réservoir,
- ✓ ASME (American society of mechanical engineers)
- ✓ RPA99 version 2003, (Règle parasismique algériennes)
- ✓ NV65modifie95. (Règlement neige et vent)
- ✓ Eurocode 3

1. Généralités sur le stockage :

Les réservoirs de stockages sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers. Ils permettent d'assurer une continuité de la production malgré les interruptions accidentelles nécessaires lors du pompage du pétrole. Le transport et le stockage sont des secteurs stratégiques dans l'industrie pétrolière. Pour le choix d'un bac de stockage, on doit connaître les techniques de construction d'un réservoir dont le volume est de plus en plus grand. Le type de réservoir à utiliser dépend nature de produit à stocker, certains produits doivent être conservés sous pression nécessitant des réservoirs très résistants (gaz liquéfiés), tandis que d'autres se nécessitent une moyenne pression (pétrole, essence) ou sous pression nulle comme le pétrole brut.

Les bacs de stockage sont des ouvrages de grandes dimensions ce qui les fragilise et peut provoquer leur destruction par le feu, les explosions ou la corrosion. Vu leur coût assez élevé, le choix de leur capacité et de leur nombre doit être précédé d'une étude technico-économique en fonction des débits véhiculés et des capacités des moyens de transport

Les réservoirs de stockages ont des capacités très variables, elles n'excèdent pas quelque centaine de mètres cubes pour nombreux produits chimiques, tandis que dans le domaine pétrolier, les réservoirs de pétrole brut par exemple dépassent de beaucoup ces limites. C'est ainsi que, sur le pare de certains terminaux de chargement au Moyen-Orient, il existe des réservoirs de 240 000 m³ et qu'il n'est pas rare, sur les terminaux de réception européens, de compter des réservoirs de 10 000 à 150 000m³ (en Algérie il existe des réservoirs de 50 000m³ pour le pétrole et le condensât).

2. But du stockage :

Le stockage des hydrocarbures a pour but de :

- ✓ Mettre le produit au repos suivi d'une opération de décantation avant l'expédition
- ✓ Permettre la collecte des différents champs pétroliers afin d'acheminer de grandes quantités de produit

- ✓ Permettre la continuité de la production et de l'exploitation tout en assurant un stockage permanent
- ✓ Permettre de contrôler la qualité du produit expédié.
- ✓ Permettre le dégazage naturel pour l'élimination des gaz indésirables, Le traitement préalable du brut est nécessaire afin de minimiser les problèmes de corrosions ou d'incendie des bacs et des canalisations car ces installations sont très coûteuses

3. Classification des réservoirs :

Dans l'industrie pétrolière, on désigne sous ce terme les réservoirs de stockage utilisés pour les divers produits pétroliers Leur forme n'est autre que celle d'une grande cuve fermée d'un toit Il existe des bacs à toit fixe et des bacs à toit flottant. Ces derniers sont utilisés pour les produits volatils tels que le pétrole brut et les essences

Les réservoirs de stockage peuvent être classés selon différents critères :

- ✓ Matériau utilisé
- ✓ Situation par rapport au sol
- ✓ Forme
- ✓ Position.
- ✓ Nature du produit stocké

Les réservoirs utilisés pour le stockage du pétrole brut et des produits pétroliers (autres que les GPL) sont des réservoirs cylindriques verticaux aériens en acier. Une des classifications de ces réservoirs consiste à les différencier selon le type de couverture (Toit) et sa forme. On distingue :

- ✓ Les cuves ouvertes
- ✓ Les réservoirs à toit fixe (bac de purge)
- ✓ Les réservoirs à toit flottant
- ✓ Réservoir cylindrique horizontal (cigares)
- ✓ Réservoir de stockage sous talus
- ✓ Réservoirs cryogénique
- ✓ Les réservoirs de stockage sous pression (les sphères)

4. Pourquoi utiliser le réservoir sphérique ?

Les sphères sont largement employées pour les stockages importants de gaz liquéfiés sous pression (pressions effectives en général inférieures à 30 bars) C'est la forme idéale pour résister à la pression car c'est sur ce type de coque que le niveau des contraintes de membrane reste le plus faible : c'est ainsi que l'épaisseur d'une enveloppe sphérique est, par exemple, moitié moindre que celle d'une enveloppe cylindrique de même diamètre soumise à la même pression et réalisée avec le même matériau. C'est aussi la forme géométrique qui présente la plus petite surface de paroi pour un volume donné. Par ailleurs, l'implantation de ces ouvrages nécessite moins de place au sol que les réservoirs cylindriques horizontaux. Toutes ces propriétés contribuent à rendre ces réservoirs très économiques et bien adaptés aux stockages sous pression de grandes capacités. Les sphères supportent également très bien d'importantes dépressions internes pouvant aller jusqu'au vide total, Comme pour les ballons cylindriques horizontaux, les pertes de produit dues à la variation de la température ambiante ou aux mouvements de produit sont nulles.

Partie 02 : Présentation de l'entreprise ENGTP

1. Présentation de l'entreprise ENGTP :

L'Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers (ENGTP, Spa) est une filiale de la première entreprise pétrolière du continent africain **SONATRACH**. Implantée au niveau des principaux pôles industriels au nord du pays et au niveau de l'ensemble des champs pétroliers et gaziers au sud.

ENGTP est leader en Algérie en matière de construction des ouvrages et installations industrielles.

Le rôle de l'ENGTP est de construire des installations industrielles destinées à la production, transformation, transport et distribution des hydrocarbures.

Sa présence sur le marché depuis plus de 40 années, lui a permis de développer un large portefeuille d'activités et d'accumuler un savoir-faire, une expertise et des capacités qui l'ont hissé au statut d'Entreprise Leader en Algérie. Plusieurs ouvrages de grandes envergures ont été réalisés par l'ENGTP dans différents secteurs des hydrocarbures, de l'énergie, de la pétrochimie et de l'hydraulique. ENGTP dispose d'une capacité de réalisation annuelle de l'ordre de neuf (09) Millions d'heures, soutenue par un effectif de plus de sept mille cinq cents (7500) salariés et quatre mille (4000) équipements de construction.

2. Historique de l'entreprise ENGTP :

1968 : SONATRACH et le groupe français UIE créent une société de canalisation et montage industriel dénommée ALTRA.

1972 : ALTRA devient filiale de SONATRACH à 100%.

1980 : créations de GTP qui hérite de patrimoine d'ALTRA.

1989 : statuts EPE/SPA pour GTP.

2004 : 51% du capital de GTP pour SONATRACH et 49 % pour le Holding Publique TRAVEN.

2005 : GTP filiale du Groupe SONATRACH à 100%.

3. Missions de « L'ENGTP » :

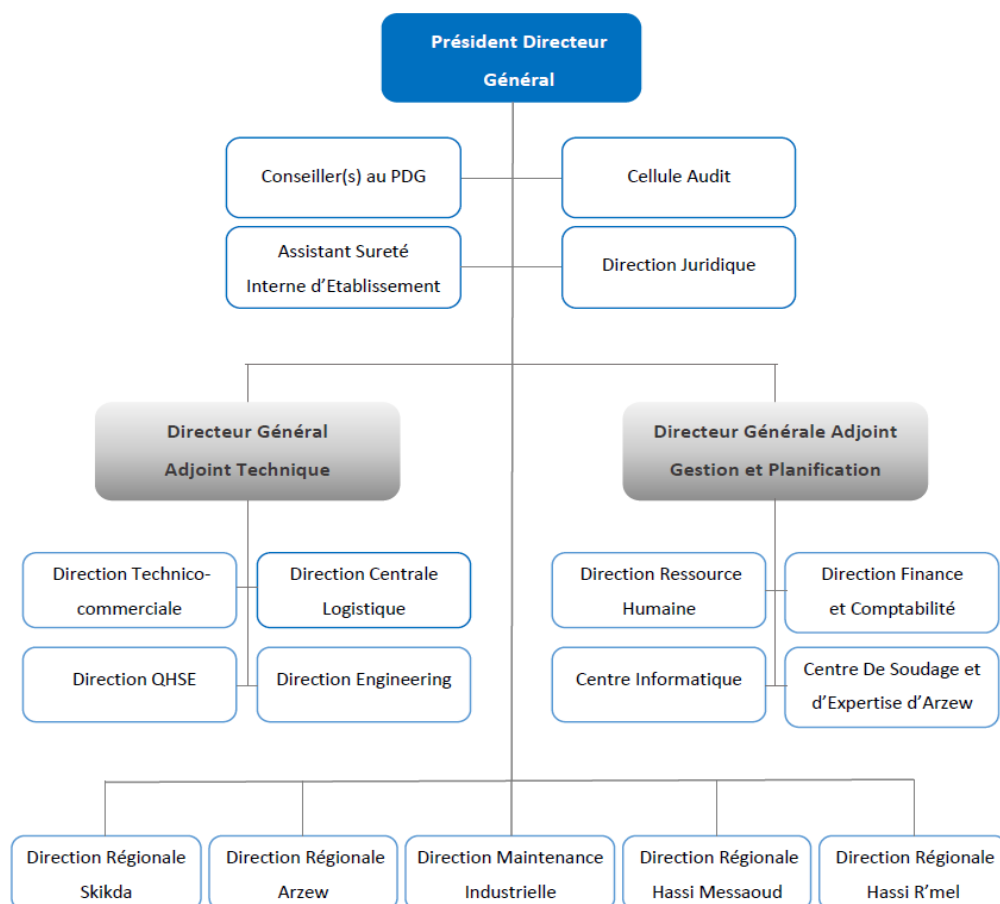
Les missions de GTP sont :

- Construction de grands ensembles industrie dans le domaine des hydrocarbures et des industries s'y rapportant, notamment ceux de la pétrochimie, du raffinage et du gaz.
- Engineering, procurèment et contrôle de réalisation.
- Maintenance des installations ou ensembles industriels, Expertise dans le domaine du soudage et du contrôle de soudage.

4. Organigramme général de L'ENGTP :

L'organigramme ci-dessous montre les différentes structures ayant la responsabilité et l'autorité pour exécuter et vérifier le travail accompli par L'ENGTP.

L'entreprise est gérée et administrée par un Président Directeur Générale, assisté par les cadres dirigeant et certaine norme de collaborateurs de son choix.



5. Les domaines d'activités de l'ENGTP :

- Engineering-procurèrent.
- Génie-civil et bâtiments.
- Montage industriel.
- Préfabrication.
- Canalisation.
- Soudage procédés.
- Contrôle et essais.
- Traitement thermique.

6. Organisation de l'entreprise :

L'ENGTP est organisée en directions centrales situées au niveau du siège de l'entreprise à Reghaia et quatre directions régionales. Les directions centrales à l'exception des directions nouvellement créées : HSE, Communication, Juridique, Qualité, Audit et Contrôle de Gestion, sont sous la coupe de deux Directions Générales Adjointes : la direction Générale Adjointe Technique et la Direction Générale Adjointe de Gestion et Planification. Ces deux dernières ainsi que les quatre directions régionales et la direction de la maintenance industrielle dépendent directement du premier responsable de l'entreprise.

7. Politique HSE :

La préservation de la Santé et la Sécurité des travailleurs est pour l'ENGTP un impératif, un élément qui conditionne son développement et sa pérennité sur les marchés des Hydrocarbures.

Pour maîtriser les risques des accidents de travail et les maladies professionnelles et assurer aux travailleurs un environnement plus sécurisé, elle s'est engagée dans la démarche de mise en place d'un système de Management de Santé et Sécurité au travail selon le référentiel OHSAS 18001. GTP a opté pour un accompagnement par un Bureau de Consulting spécialisé en **Environnement et Sécurité industrielle** pour bénéficier de son savoir-faire dans le domaine et avoir les bons réflexes dans les situations d'urgence.

L'objectif du GTP étant non seulement de réduire le taux de fréquence des accidents de travail mais aussi d'atteindre « ZERO ACCIDENTS ». Pour l'atteinte de cet objectif, toutes les dispositions sont prises pour mettre en œuvre les engagements contenus dans la politique HSE. Pour atteindre cet objectif, plusieurs actions ont été engagées :

- Lancer des actions de sensibilisation et de formation au référentiel OHSAS 18001.
- Effectuer des simulations d'évacuation du personnel en situations d'urgence.
- Respecter et appliquer les exigences de la législation en matière de santé et sécurité au travail.
- Orienter leurs partenaires, sous-traitants, fournisseurs/prestataires pour se conformer aux normes et standards de sécurité.

8. L'Environnement :

Selon l'importance des risques des pollutions et des nuisances susceptibles d'être engendrées par l'activité pour l'environnement et pour la sécurité et la santé, la réglementation relative aux installations classées peut s'appliquer il conscient dans un premier temps de vérifier si tel est le cas, en consultant la nomenclature des installations classées disponibles, et de réaliser les différents ouvrages destinés à la préservation de l'environnement :

- Unités de traitements des eaux huileuses, réalisation des réseaux (EP/EV/EH). Les eaux fluviales non polluées seront évacués vers le réseau d'assainissement.
- Unités de récupération des vapeurs des carburants des citernes après leurs déchargement (bacs et postes de chargements camions et wagons).
- Unités d'épuration et traitements des effluents.
- Aménagement et embellissement des centres qui permettra d'éviter l'opération annuelle de désherbage (couvrir tous les espaces par le gazon, le gravier et le béton).
- Aire de stockage intermédiaire des déchets.
- Réalisation en énergie solaire de l'éclairage périphérique.

9. La procédure du travail :

L'ENGTP est considérée comme l'une des meilleures entreprises en Algérie qui assure une formation professionnelle, continue et de haut niveau au domaine de l'ingénierie et qui nécessite un travail de synthèse coordonnant les travaux de plusieurs équipes de spécialistes, ce privilège est obtenu grâce à la stricte politique en matière de l'engineering qui se résume à l'étude, le procurèment et la réalisation.

- **L'Etude :**

L'entreprise assure l'étude des différents projets y compris l'engineering de base et de détail.

- **Le Procurèment :**

L'achat des matériels de construction, supervision, transport et dédouanement.

- **La Construction :**

La réalisation des projets en assurant la supervision et le contrôle de la construction, pour satisfaire le client en toute professionnalisation.

10. Pourquoi l'ENGTP ?

En général, le travail de l'entreprise nationale de grands travaux pétroliers se focalise sur le domaine des hydrocarbures, mais c'était facile de trouver une application directe de tout ce qui est hydraulique, Elle assure la réalisation des systèmes anti-incendie, les systèmes de drainage des différents implantations, le traitement des effluents, l'épuration et l'assainissement tout en assurant une très bonne formation au milieu professionnel grâce aux méthodes suivies dans le domaine de l'Engineering, et la procédure du travail de l'ingénieur .

Partie 03 : Présentation de notre sujet

1. But du travail :

Ce travail a pour objet d'étudier et de concevoir un réservoir sphérique pour le stockage de gaz de propane (C_3H_8) de capacité 1280 m^3 . Ce type d'appareils de stockage des hydrocarbures est soumis à une pression intérieure. Il comporte cinq parties bien distinctes :

- ✓ La Calotte supérieure
- ✓ La Calotte inférieure
- ✓ La zone équatoriale
- ✓ Les supportages
- ✓ Les fondations

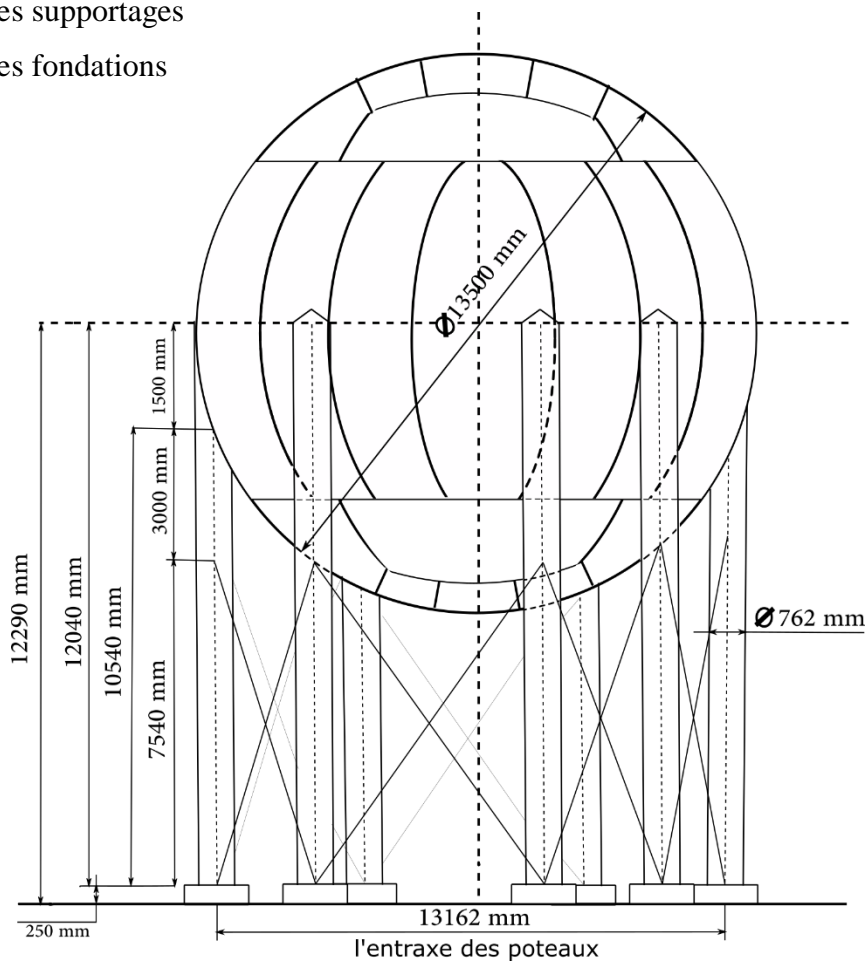


Fig-1 : Vue principale de la sphère

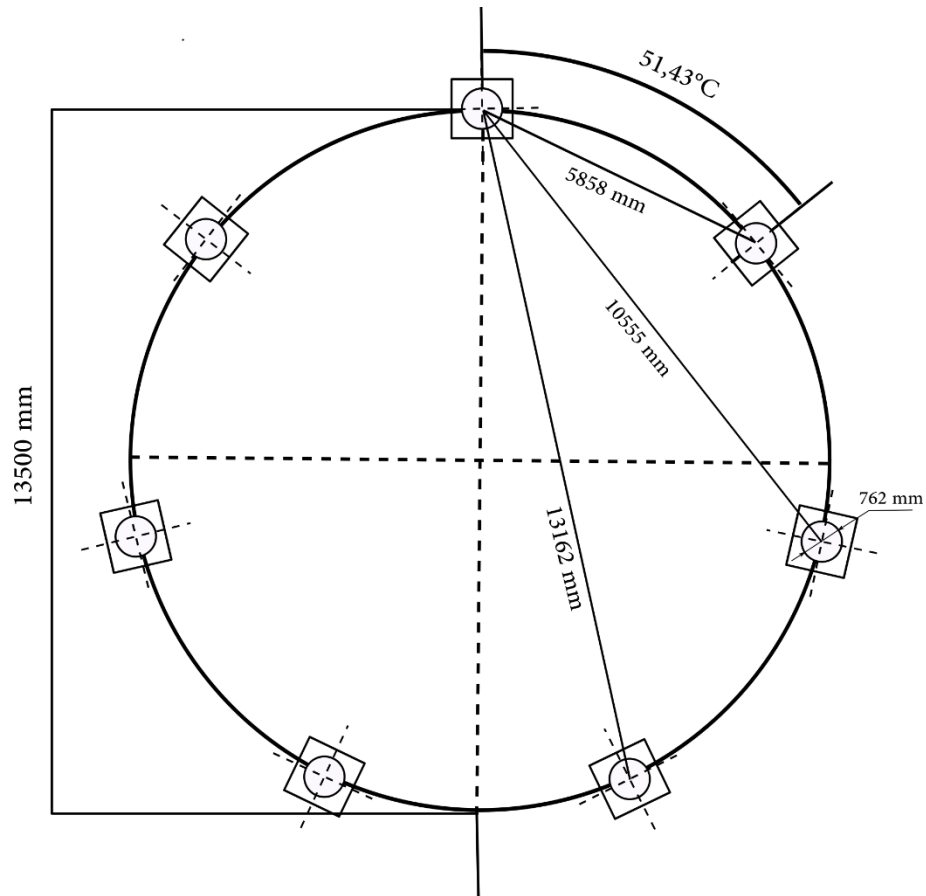


Fig-2 : Disposition des poteaux

2. Données relatives au projet :

Lieu d'implantation : SIDI RCINE(Alger)

- ✓ Zone sismique : III
- ✓ Zone de vent : I
- ✓ Pression de vent : 122,55 daN/m²
- ✓ Capacité de stockage :
- ✓ Capacité : 1280 m³
- ✓ Diamètre interne du réservoir : 13,5 m

➤ Produit stocké :

- ✓ Produit stocké : propane
- ✓ Pression de Calcul : 19,60 Kg/cm²
- ✓ Pression maxi de service : 19,60 Kg/cm²
- ✓ Pression d'épreuve : 29,40 Kg/cm²
- ✓ Température de calcul : -45/+65°C
- ✓ Température de service : AMB (+1/+45°C)
- ✓ Température d'essai : Température ambiante
- ✓ Température de conception : -27/65C
- ✓ Coefficient de joint : 1
- ✓ Poids spécifique de fluide ; 518kg/m³

➤ Charpente métallique :

- ✓ Surépaisseur de corrosion : 1,5 mm
- ✓ Poteaux : tube rond creux
- ✓ Nuance des tôles (reste à déterminer au prochain chapitre)

Partie 04 : Mode de stockage de gaz

Les gaz, en général, possèdent un point normal d'ébullition inférieur ou égal à la température ambiante et leur tension de vapeur absolue à l'ambiante est supérieure ou égale à 1,013 bar. A température ambiante, une pression effective existe donc au-dessus du liquide.

Trois modes de stockage sont envisagés :

- Le stockage sous pleine pression à température ambiante dit stockage libre
- Le stockage semi-réfrigéré sous pression et température réduites appelé stockage à température contrôlée
- Le stockage réfrigéré ou cryogénique (au PNE) sous pression atmosphérique a température d'ébullition. Désigne par le nom de stockage à température contrôlée (cas du stockage du propane)

La fig -1 donne une illustration de ces trois modes de stockage pour quelques produits dont le PNE est inférieur à la température ambiante.

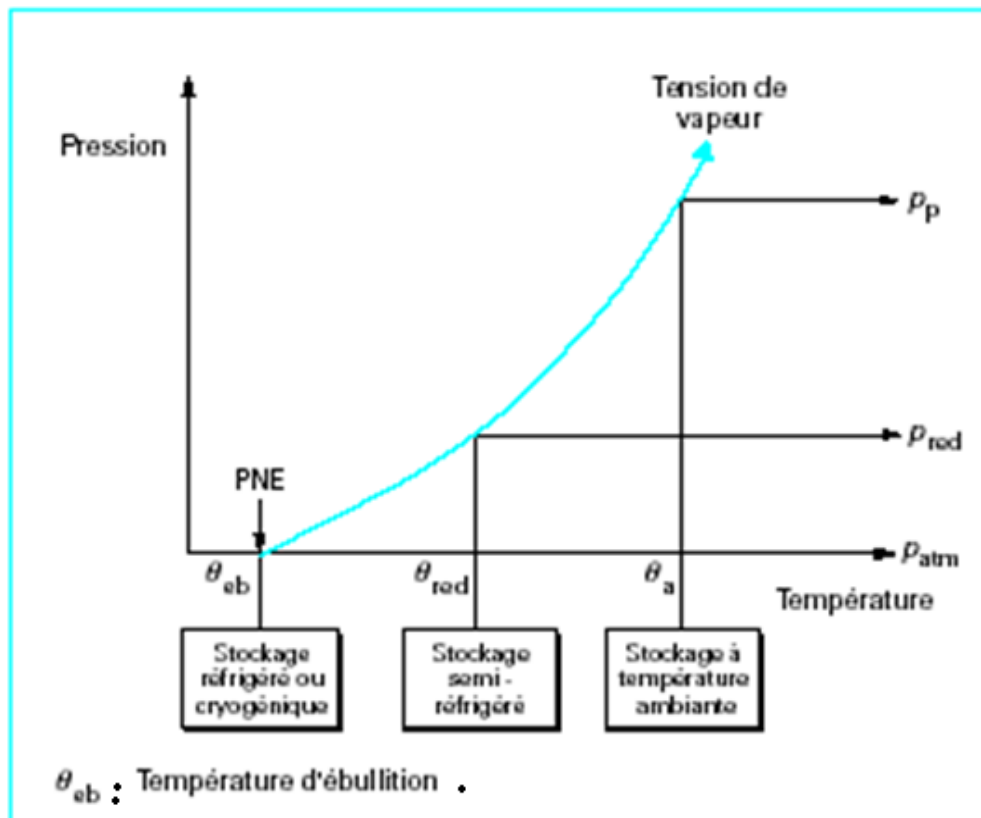


Fig - 3 : Les trois mode de stockage

1. Stockage sous pleine pression :

Réalisés avec des réservoirs directement exposés à l'air ambiant sans isolation thermique. La température du produit stocké est voisine de la température du site et la pression d'exploitation maximale.

2. Stockage semi-réfrigère :

Fonctionnent sous pression d'exploitations réduite, obtenue par abaissement de la température du produit, et comprennent une isolation thermique pour limiter l'entrée de la chaleur. Leur pression est limitée à une valeur intermédiaire comprise entre la pleine pression à température ambiante et la pression atmosphérique au PNE. Il en résulte que les épaisseurs des réservoirs sont moins importantes. Il est ainsi possible d'accroître l'importance des capacités unitaires.

3. Stockages réfrigérés ou cryogéniques :

Fonctionnent sous pression d'exploitation pratiquement nulle obtenue par abaissement de la température du produit jusqu'à son PNE. Les épaisseurs de paroi sont ainsi plus faibles, ce qui permet d'augmenter encore les capacités unitaires exemple (réservoir sphérique).

Ils sont pourvus d'un système isolant dimensionné pour maintenir le produit à basse température.

Par ailleurs, avec ce mode de stockage, la quantité de produit stocké est plus grande, car la densité des liquides est maximale au PNE. Cette caractéristique constitue un avantage essentiel pour le transport sur grande distance. Elle est à l'origine des chaînes de liquéfaction et de distribution de gaz naturel qui existent entre les pays producteurs et les pays consommateurs.

Par convention, on désigne par stockages réfrigérés, les réservoirs dont la température minimale est supérieure à -60 °C car, jusqu'à cette température, les réservoirs peuvent être réalisés avec des aciers au carbone classiques.

Les réservoirs cryogéniques couvrent la gamme de températures comprise entre -60 °C et

-273 °C . Ils sont construits avec des matériaux beaucoup plus résilients tels que les aciers alliés au nickel (5 à 9 % de Ni), les aciers inoxydables et les alliages d'aluminium.

- Dans notre cas notre gaz (propane) est classé au catégorie de Stockages réfrigérés et cryogéniques.

Car le stockage du propane est un stockage à température contrôlée.

CHAPITRE I

Choix des Matériaux
et Calcul du Réservoir

Partie 01 : Choix des matériaux

I.1 Introduction :

La pratique des analyses de conception tend à séparer en deux phases distinctes

- Le choix des matériaux pour éviter la corrosion généralisée ou la fissuration par corrosion sous tension.

- Les opérations associées au dimensionnement de l'appareil et à la vérification

De la résistance mécanique.

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 est fait pour obtenir la résistance mécanique au meilleur coût.

Les facteurs métallurgiques et les particularités des traitements thermiques y tiennent un rôle essentiel. Lorsque des alliages sensibles à la corrosion sous tension sont utilisés, il faut limiter strictement les effets de concentration de contrainte lors du tracé des pièces et il faut adapter les procédés de fabrication pour pouvoir laisser des contraintes résiduelles très réduites dans la pièce ou, encore mieux, pour obtenir des contraintes de compression aux surfaces exposées au milieu agressif.

Le choix du matériau en fonction de point normal d'ébullition et du produit stocké est donné par le schéma suivant :

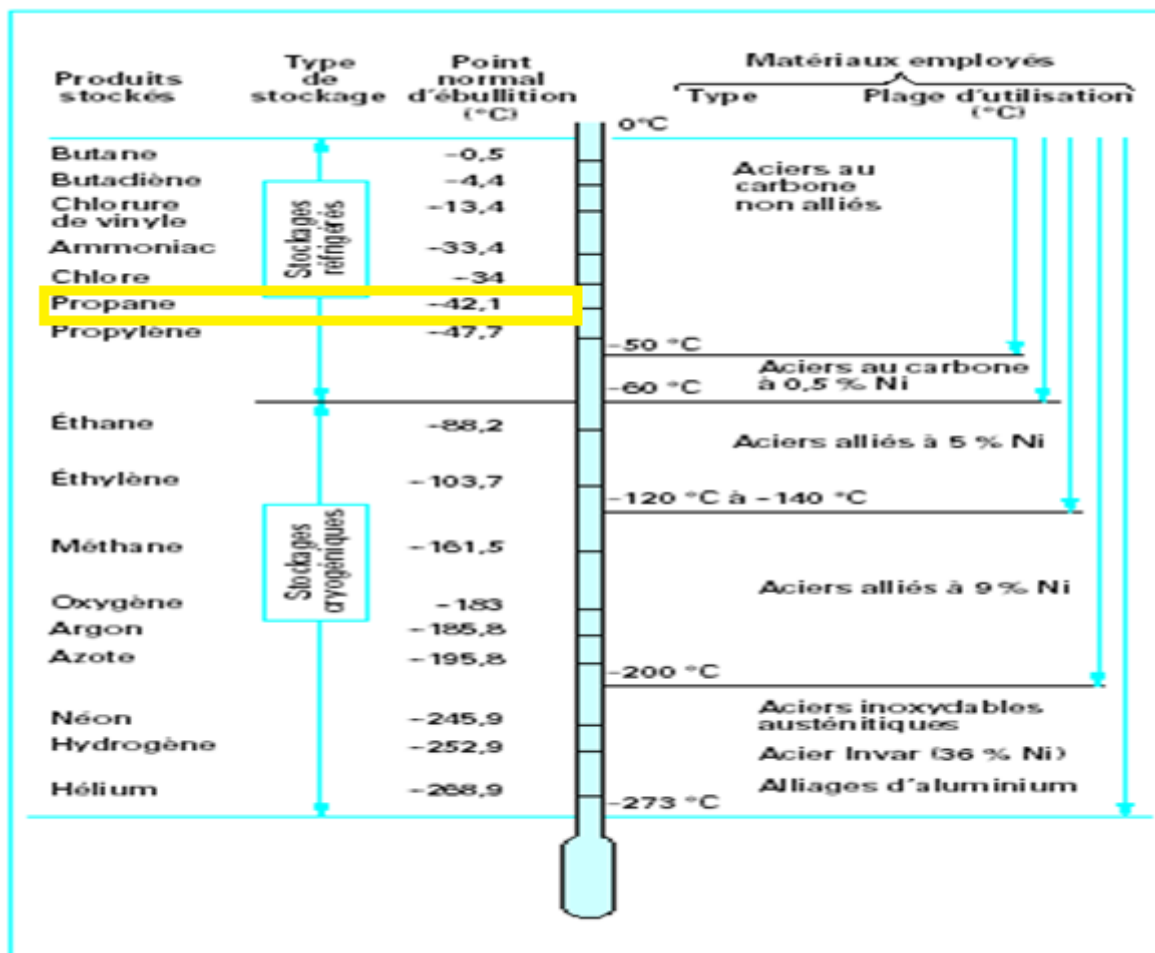


Fig I-1 : Température d'ébullition du produit stocké et matériaux employés

Les ouvrages sous forte pression où de grand épaisseur de parois, qu'est le cas de notre étude ne sont réalisés qu'avec des aciers de qualité pour chaudières ou pour appareils à pression. Ce sont principalement des aciers normalisés au carbone manganèse calmés au silicium qui sont élaborés selon la technique du grain fin (Cette technique permet de conserver sur des aciers à haute performance une excellente soudabilité comparable à celle des aciers normalisés. L'emploi des aciers trempés et revenus permet également de réaliser des unités de stockage plus importantes tout en restant dans les limites d'épaisseur fixées pour le soudage ou par le code de construction).

Ces aciers garantissent de bonnes valeurs d'allongement et de résilience à basse température. Il est en effet nécessaire de tenir compte des conditions de fonctionnement sous pression à température négative et de se prémunir du risque de rupture fragile sous contrainte.

I.2 La qualité des aciers :

Le choix d'un acier adapté aux conditions de service en fonction de ses caractéristiques mécaniques affichées par la norme ne suffit pas pour garantir la tenue de l'appareil. Il faut en outre :

- Que ces valeurs de caractéristiques mécaniques sont respectées en tout point du produit, c'est à dire, que celui-ci soit homogène et ne possède pas de défauts
- Que ces caractéristiques se conservent pendant la durée de vie de l'appareil

En fait l'acier n'est jamais ni homogène ni stable mais les limites de cette variabilité inévitable en l'état actuel de la technique doivent être fixes en tenant compte de l'utilisation du produit c'est adiré en fonction du niveau de contrainte et de leurs formes d'action.

L'hétérogénéité d'un produit se présent sous de multiple formes :

- ✓ Ségrégation mineure au niveau de la cristallisation
- ✓ Ségrégation majeure au niveau du lingot
- ✓ Anisotropie due à des opérations de mise en forme

I.3 Critères de choix des matériaux :

Les principaux critères du 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.
 - Le respect des exigences réglementaires.
- Le choix des matériaux doit être fondé sur l'examen probable de toutes les données relatives aux conditions de fonctionnement de l'appareil.
 - Les propriétés de certains matériaux peuvent évoluer dans le temps, cette évolution dépend des conditions d'élaboration du métal et de l'état de livraison du produit, des conditions de mise en forme, des conditions de services en particulier de la température.

- Comptabilité économique :
 - Moindre coût ;
 - Minimiser la quantité : choisir un acier de bonne dureté ;
 - Soudabilité : fait intervenir la notion du carbone équivalent.

Les tôles destinées à la construction des réservoirs, des renforts de tubulures et amorces de poteaux, des viroles de trous d'homme, seront en acier de qualité chaudière.

Dans le cas d'utilisation des aciers à haute limite d'élasticité le constructeur devra, préalablement à la commande, préciser la formule du carbone équivalent, qui en général sera la suivante :

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

$C_E < 0.3 \rightarrow$ Soudable

$C_E \in (0,3 - 0,6) \rightarrow$ Préchauffage

$C_E > 0.6 \rightarrow$ Problème particulier

Pour notre réservoir nous avons choisi avec l'aide des ingénieurs de bureau d'étude un acier d'usage courant et qui répond aux conditions.

L'acier choisit pour la conception de cette sphère est : A 537 / class1

Ces caractéristiques chimiques et mécaniques représenté dans le tableau suivant.

normes ASTM domaine d'application

ASTM	Spécification pour
A 302 / A 302 M-07	Tôles en acier allié au manganèse-molybdène et manganèse-molybdène-nickel, pour réservoir sous pression.
A 312 / A 312 M-00	Tubes sans soudure et soudés, en acier inoxydable austénitique.
A 320 / A 320 M-08	Boulonnerie en acier allié pour utilisation à basse température.
A 333 / A 333 M-00	Tubes en acier sans soudure et soudés, pour utilisation à basse température.
A 334 / A 334 M-00	Tubes sans soudure et soudés, en acier au carbone et allié, pour utilisation à basse température.
A 335 / A 335 M-00	Tubes sans soudure en acier allié ferritique, pour utilisation à haute température.
A 350 / A 350 M-00	Accessoires de tuyauterie forgés en acier au carbone et faiblement allié, exigeant des essais de flexion par choc.
A 353 / A 353 M-03	Tôles en acier, allié à 9 % de nickel, double traitement de normalisation et revenu, pour réservoir sous pression.
A 358 / A 358 M-08	Tubes soudés par fusion en acier allié austénitique chrome-nickel pour utilisation à haute température.
A 387 / A 387 M-00	Tôles en acier allié au chrome-molybdène, pour réservoir sous pression.
A 403 / A 403 M-00	Raccords de tuyauterie en acier inoxydable austénitique.
A 409 / A 409 M-05a	Tubes soudés de grand diamètre en acier austénitique, pour service corraff ou pour utilisation à haute température.
A 420 / A 420 M-00a	Raccords de tuyauterie en acier au carbone et acier allié, pour utilisation à basse température.
A 515 / A 515 M-02	Tôles en acier au carbone, pour réservoir sous pression et utilisation à température moyenne et plus élevée.
A 516 / A 516 M-00	Tôles en acier au carbone, pour réservoir sous pression et utilisation à température moyenne et plus basse.
A 517 / A 517 M-03	Tôles en acier allié à haute résistance, trempé et revenu, pour réservoir sous pression.
A 537 / A 537 M - 95	Tôles en acier au carbone - manganèse - silicium, traitées thermiquement, pour réservoir sous pression.
A 537 / A 537 M-05	Tôles en acier au carbone-manganèse-silicium, traitées thermiquement, pour réservoir sous pression.
A 573 / A 573 M-03a	Tôles en acier de construction au carbone à résistance au choc améliorée.
A 602 / A 602 M-00	Tôles au carbone-manganèse, pour réservoir sous pression et utilisation à température moyenne et plus basse.
A 671 - 00	Tubes en acier soudés à l'arc, pour température ambiante et basse.
A 672 - 00	Tubes en acier soudés à l'arc, pour utilisation à haute pression à des températures moyennes.
A 691 - 08	Tubes soudés à l'arc en acier au carbone et allié, pour utilisation à haute pression et haute température.
A 730 / A 730 M-88	Tôles en acier allié à bas carbone et durcissement structural au nickel-cuivre-chrome-molybdène-niobium et nickel-cuivre-manganèse-molybdène-niobium, pour réservoir sous pression.
A 738 / A 738 M-00	Tôles en acier au carbone-manganèse-silicium, traitées thermiquement, pour réservoir sous pression et utilisation à température moyenne et basse.
A 790 / A 790 M-00	Tubes sans soudure et soudés, en acier inox austéno-ferritique.

D'après norme ASTM page 9/ 15 et 15/15

Norme ASTM : est un organisme de normalisation qui rédige et produit des normes techniques concernant les matériaux.

I.3-1 Composition chimique :

Tableau I.1 : Composition Chimique

Éléments d'alliage	C	Mn	Pmaxi	Smaxi	Si	Ni	Cr
%	0.24	0.7-1.35	0.035	0.035	0.15-0.50	0.25	0.25

I.3-2 Caractéristiques mécaniques :

Tableau I.2 : Caractéristiques mécaniques :

Résistance rupture		Limite élastique		Allongement% Elastique
Min Mpa	Min Ksi	Min Mpa	Min Ksi	22
485-620	70-90	345	50	

I.4 Conclusion :

Dans ce chapitre on a choisi l'acier A 537/ class1 parce que ses caractéristique chimique et mécanique correspondent aux exigences de notre sphère.

Partie 2 : Calcul du Réservoir

I.1 Présentation du code de calcul :

Le code de construction des appareils à pression ASME est un code American, il est très utilisé dans le secteur industriel en général, et en particulier dans le secteur pétrolier.

L'American Society of Mechanical Engineers a créé un comité en 1911 dans le but de formuler pour la construction de chaudières à vapeur et autres appareils à pression. Le Comité a pour fonction d'établir des règles de sécurité portant uniquement sur l'intégrité de la pression, régissant la construction¹ de chaudières, réservoirs de pression, réservoirs de transport et composants nucléaires, ainsi que d'inspecter en service l'intégrité de pression des composants nucléaires et des réservoirs de transport, et d'interpréter les règles à suivre lorsqu'il s'agit de respecter son objectif.

Ce code ne traite pas d'autres problèmes de sécurité liés à la construction des chaudières, des réservoirs sous pression, des réservoirs de transport et des composants nucléaires, et à l'inspection d'inspection des composants nucléaires et des réservoirs de transport. L'utilisateur du code doit se référer à d'autres codes, normes, lois, règlements ou autres documents pertinents. À quelques rares exceptions près, les règles ne reflètent pas, par nécessité pratique, la probabilité et les conséquences d'une détérioration du service liée à des fluides de service spécifiques ou à des environnements d'exploitation externes.

I.2 Calcul des épaisseurs des parois par ASME :

I.2-1 Cas de service :

Selon ASME 8 paragraphe UG-27d :

Pression de calcul (P_{tot}) est donnée par la formule suivante :

$$P_{tot} = P_{int} + P_{idr}$$

Avec : P_{int} = pression interne = 1,92Mpa

P_{idr} = pression statique (pression de liquide à la hauteur de niveau considéré)

➤ **Pression statique(P_{idr}) :**

Elle donnée par la formule suivante :

$$P_{idr} = \rho \cdot g \cdot H_{idr}$$

Avec : $H_{idr} = HHLL - R_i (1 - \cos\psi_i)$

H_{idr} = hauteur statique en mm

HHLL = la hauteur maximale de liquide = 9450mm

ψ_i : angle correspondant à chaque segment($0,180^\circ$)

ρ = densité de produit stocke en kg/m^3 (518 kg / m^3)

g = l'accélération de la gravitation en m/s^2

D'après L ASME la sphère est décomposée en 4 zones

➤ **ZONE 1**

H_{idr} = hauteur statique = 9450

$\psi_i = 0^\circ$

P_{idr} = pression statique = $\rho \cdot g \cdot H_{idr} = 0,048 \text{ Mpa}$

P_{int} = pression interne = $1,92 \text{ Mpa}$

P_{tot} = pression de calcul = $P_{int} + P_{idr} = 1,97 \text{ Mpa}$

L'épaisseur exige par L'ASME :

$$T_{ex} = \frac{D}{2} \left(\exp \left(\frac{0,5P}{SE} \right) - 1 \right) \quad \text{ASME 8 DIV 2 page 240 formule 4.3.4}$$

Avec : p = pression total en Mpa

S = l'effort admissible en Mpa = $137,9 \text{ Mpa}$

E = joint de soudure = 1

$T_{ex} = 48,4 \text{ mm}$

$$T_1 = \frac{PR}{2SE - 0,2P} + \text{cor} \quad \text{ASME 8 DIV- 1 UG 27D}$$

$T_1 = 50,4 \text{ mm}$

$T_1 = 50,4 > T_{ex} \dots \dots \dots$ vérifié

➤ **ZONE 2**

H_{idr} = hauteur statique = 8241mm

$$\psi_i = 34,825^\circ$$

P_{idr} = pression statique = 0,042Mpa

P_{int} = pression interne = 1,92Mpa

P_{tot} = pression de calcul = P_{int} + P_{idr} = 1,96Mpa

L'épaisseur exige par L'ASME :

$$T_{ex} = \frac{D}{2} \left(\exp \left(\frac{0,5P}{SE} \right) - 1 \right)$$

$$T_{ex} = 48,13\text{mm}$$

$$T_2 = \frac{PR}{2SE - 0,2P} + \text{cor} \quad \text{ASME 8 DIV- 1 UG 27D}$$

$$T_2 = 50\text{mm}$$

$$T_2 = 50 > T_{ex} \dots \dots \dots \text{vérifié}$$

➤ **ZONE3**

H_{idr} = hauteur statique = 2699mm

$$\psi_i = 90^\circ$$

P_{idr} = pression statique = 0,014Mpa

P_{int} = pression interne = 1,92Mpa

P_{tot} = pression de calcul = P_{int} + P_{idr} = 1,94Mpa

L'épaisseur exige par L'ASME :

$$T_{ex} = \frac{D}{2} \left(\exp \left(\frac{0,5P}{SE} \right) - 1 \right)$$

$$T_{ex} = 47,6\text{mm}$$

$$T_3 = \frac{PR}{2SE - 0,2P} + \text{cor} \quad \text{ASME 8 DIV- 1 UG 27D}$$

$$T_3 = 50\text{mm}$$

$$T_3 = 50 > T_{ex} \dots \dots \dots \text{vérifié}$$

➤ **ZONE4**

H_{idr} = hauteur statique = 0 mm

$\psi_1 = 124,84^\circ$

P_{idr} = pression statique = 0Mpa

P_{int} = pression interne = 1,92Mpa

P_{tot} = pression de calcul = $P_{int} + P_{idr} = 1,92\text{Mpa}$

L'épaisseur exige par L'ASME :

$$T_{ex} = \frac{D}{2} \left(\exp \left(\frac{0,5P}{SE} \right) - 1 \right)$$

$T_{ex} = 47,1\text{mm}$

$$T_4 = \frac{PR}{2SE-0,2P} + \text{cor} \quad \text{ASME 8 DIV- 1 UG 27D}$$

$T_4 = 49.1\text{mm}$

Donc $T_4 = 49,1 > T_{ex}$vérifier

I.2-2 Cas d'épreuve :

P = pression de service = 1,92Mpa

P_{test} = pression de test = $1,5 \times P = 2,88\text{Mpa}$

$S = 0,9 \times S_y$

$S = 0,9 \times 344 = 310\text{Mpa}$

S = l'effort admissible d'épreuve

S_y = rendement force en Mpa

$P_{tot} = P_{int} + P_{test}$

$$T_{test} = \frac{PR}{2SE-0,2P} + \text{cor} \quad \text{ASME 8 DIV- 1 UG 27D}$$

Tableau I.3 : Les épaisseurs dans le cas d'épreuve

ZONE	ψ_1 (°C)	Hidr mm	Pidr Mpa	P _{test} Mpa	P _{tot} Mpa	T _{TEST} mm	T mm	T>T _{test}
1	0	13500	0,132	2,88	3,017	32,8	50,4	VERIFIE
2	34,825	12291	0,121	2,88	3,005	32,7	50	VERIFIE
3	90	6750	0,066	2,88	2,950	32,1	50	VERIFIE
4	124,825	2895	0,028	2,88	2,913	31,7	49,1	VERIFIE

Dans le formage des tôles il faut attention à la fatigue, et pour cela on doit calculer l'allongement de la fibre extrême. D'après UCS79VIII-1-01-57

$$\epsilon_f = \frac{75T}{R_f} \left(1 - \frac{R_f}{R_0}\right) \quad (\text{ASME VIII DIV 1 UCS-79})$$

ϵ_f = allongement de la fibre extrême

T = L'épaisseur de la zone

R_f = rayon moyen final ; $R_f = (D+2T) / 2$

R₀ = rayon moyen d'origine

Tableau I.4 : Calcul de l'allongement de la fibre extrême

	T (mm)	R _f (mm)	ϵ_f	Traitement Thermique Non exigée
Zone 1	50.4	6800.40	$0.556 \leq 5\%$	
Zone 2	50	6800.00	$0.551 \leq 5\%$	
Zone 3	50	6800.00	$0.551 \leq 5\%$	
Zone 4	49.1	6799.10	$0.542 \leq 5\%$	

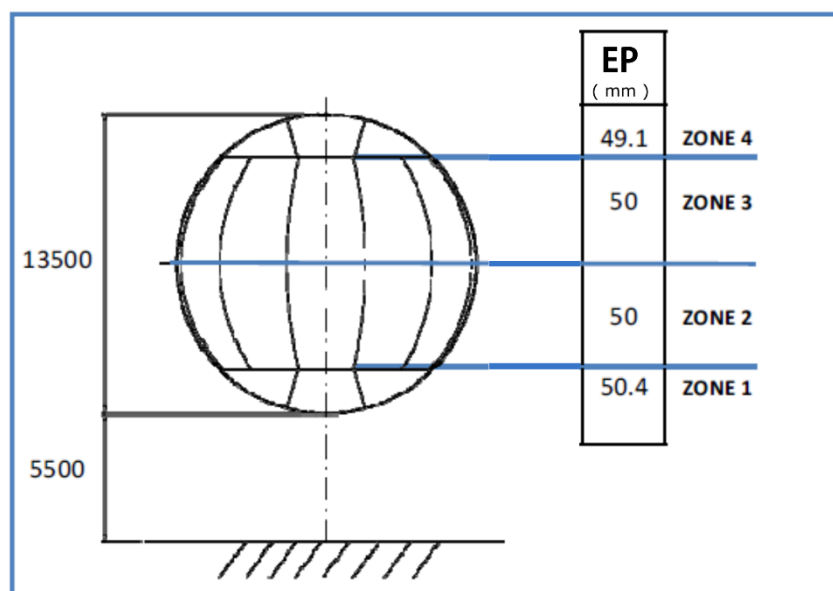


Fig I.2 : Epaisseur des tôles de la sphère

I.3 Conclusion :

Dans ce chapitre on a calculé les différentes pressions et épaisseurs pour les conditions de service et pour la condition d'épreuve.

CHAPITRE II

Etude Climatique et Sismique

Partie 01 : Etude Climatique

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, il s'agit de déterminer les actions (les pressions) du vent et de la neige agissant sur les parois et les poteaux de la structure. À ce propos on a utilisé le norme RNV65.

Les effets de la neige sont négligeables sur une sphère.

Les résultats donnés ci-après ont été obtenus en utilisant les formules « Règles Neige et Vent 65 (modifiées 1999) »,

II.2 Etude au vent :

II.2-1 Vent horizontal :

➤ Vent horizontal normal :

$$F_V = q = C_t \cdot q_{10} \cdot S ;$$

Avec :

- q : F_V la force du vent
- q_{10} : la pression dynamique de base normale
- C_t : le coefficient global de traînée
- S : section offerte au vent

➤ La pression dynamique dans la région « q » :

D'après le RNV65, les villes classées en région I ont pour pressions dynamiques de bases :

$$q \text{ de base normale} = 50 \text{ daN/m}^2 = q_{10\text{nor}} \dots \dots \dots (1,232, \text{ NV } 65)$$

$$q \text{ de base extrême} = 87,5 \text{ daN/m}^2 = q_{10\text{ext}} \dots \dots \dots (1,232, \text{ NV } 65)$$

Soit q_H la pression dynamique agissant à la hauteur H au-dessus du sol exprimé en mètres,

q_{10} : la pression dynamique de base a 10m de hauteur.

Pour H compris entre 0 et 500 m, le rapport entre q_H et q_{10} est défini par la formule :

$$\frac{q_H}{q_{10}} = 2.5 \frac{H + 18}{H + 60} \dots\dots\dots (1,241, NV 65)$$

$$q_H = 2.5 \frac{19 + 18}{19 + 60} \cdot q_{10}$$

$$\Rightarrow q_{\text{normale}} = 58,54 \text{ daN/m}^2 \dots\dots\dots (1,241, NV 65)$$

$$q_{\text{extrême}} = 102,45 \text{ daN/m}^2$$

Avec : $q_{10} = 50 \text{ daN/m}^2$ à $H = 19\text{m}$

❖ **Pour la sphère :**

➤ **Le coefficient global de traînée « C_t » :**

$$\begin{cases} d \sqrt{q} \leq 0.5 \Rightarrow c_t = 0.48 \\ 0.5 < d \sqrt{q} < 1.5 \Rightarrow c_t = 0.62 - 0.28 d \sqrt{q} \Rightarrow d \sqrt{q} = 13,5 \sqrt{81,72} = 122,04 > 1,5 \Rightarrow c_t = 0.20 \\ d \sqrt{q} \geq 1.5 \Rightarrow c_t = 0.20 \end{cases}$$

➤ **La surface offerte au vent « S » :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$S = \pi r^2 = 3,14(6,75)^2 = 143,14 \text{ m}^2$$

La force du vent est ainsi déterminée comme suit :

$$F_{V \text{ normale}} = 0,20 \cdot 58,54 \cdot \pi r^2 = 1676 \text{ daN}$$

$$F_{V \text{ extrême}} = 0,20 \cdot 102,45 \cdot \pi r^2 = 2933 \text{ daN}$$

❖ **Pour les poteaux :**

$$C_t = 0,45$$

(Tableau VII- VI – NV65/page 143)

➤ **La surface de poteau :**

La section du poteau est circulaire alors on considère une demie surface :

$$S_P = h \cdot d = 10,54 \cdot 0,762 = 8,03 \text{ m}^2$$

$$q = q_{10} \cdot c_t \cdot s = 50 \cdot 0,45 \cdot 8,03 = 180,7 \text{ daN}$$

➤ **Vent horizontal extrême :**

$$q_{\text{ext}(s)} = 1,75 \cdot q_{n(s)} = 1,75 \cdot 1676 = 2933 \text{ daN}$$

$$q_{\text{ext}(p)} = 1,75 \cdot q_{n(p)} = 1,75 \cdot 180,7 = 316,24 \text{ daN}$$

II.2-2 Calcul des réactions horizontales aux sommes des poteaux F_H :

➤ **Vent normal q_n :**

$$F_{H(n)} = \frac{q_{n(s)}}{N_p} + \frac{q_{n(p)}}{2} \quad \text{avec} \quad N_p : \text{nombre de poteaux}$$

$$F_{H(n)} = \frac{q_{n(s)}}{7} + \frac{q_{n(p)}}{2} = \frac{1676}{7} + \frac{180,7}{2} = 330 \text{ daN}$$

➤ **Vent extrême q_{ext} :**

$$F_{H(n)} = \frac{q_{\text{ext}(s)}}{7} + \frac{q_{\text{ext}(p)}}{2} = \frac{2933}{7} + \frac{316,24}{2} = 577 \text{ daN}$$

II.2-3 Calcul des réactions verticales aux sommes des poteaux F_V :

Moment de basculement : $M_{qn} = q_n \cdot h_p$

$$\text{Avec : } \begin{cases} q_n : \text{force normal} \\ h_p : \text{hauteur de poteau} \end{cases}$$

$$M_{qn} = 1676 \cdot 10,54 = 17665 \text{ daN.m}$$

Remarque : $q_n = F_n$ et $q_{\text{ext}} = F_{\text{ext}}$

II.2-4 Bilan des forces sous l'action du vent :

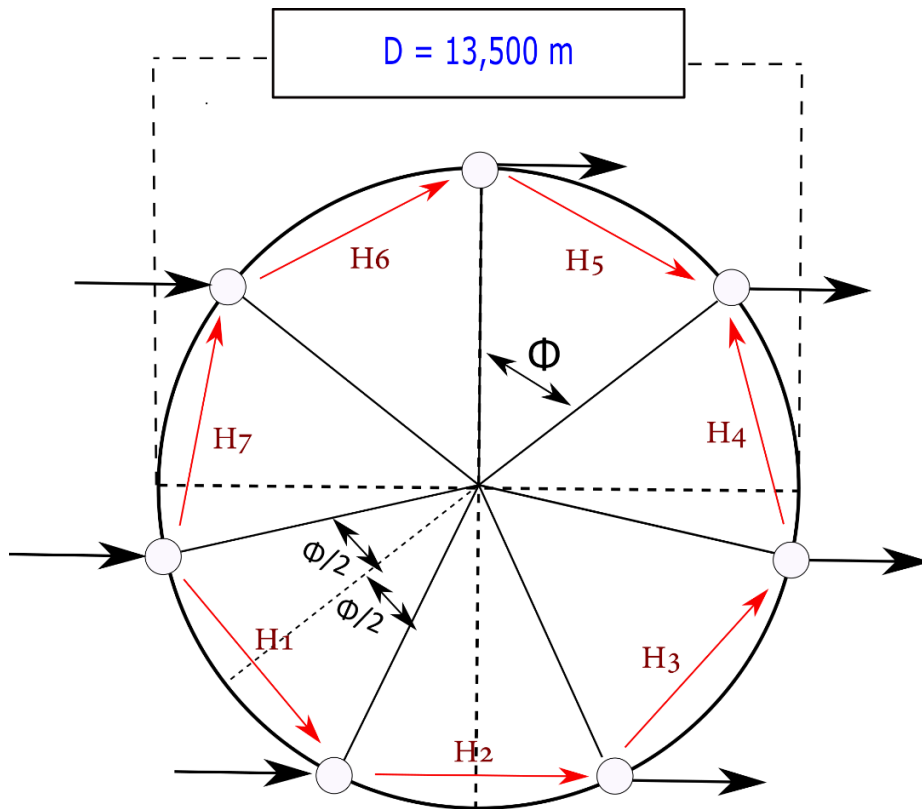


Fig II.1 : Répartition des efforts du vent sur les sommets des poteaux

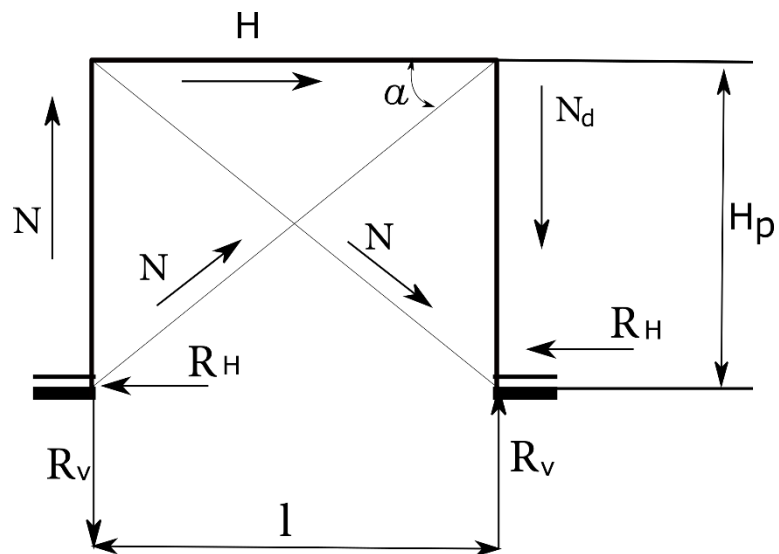


Fig II.2 : Panneau de stabilité verticale

D'après la figure (fig.1) on a :

- $\varphi = 360^\circ / 7 = 51,43^\circ$
- $\psi = (180 - \varphi) / 2 = 64,28^\circ$
- $H_i = H \cos (64,28^\circ - \theta)$
- $l = 2r_2 \sin \varphi / 2 = 5,858$
- $H_p = 10,54 \text{ m}$
- $\text{tg}\alpha = H_p / l = 1,799$
- $H = F_{v_{\text{normale}}} / \text{nombre de poteaux} = 238,72 \text{ daN}$
- $\alpha = 61^\circ$

D'après la figure (fig. 2) on a :

- $R_{H_i} = -H_i / 2$
- $R_{v_i} = H_i \text{tg}\alpha = 1,799 H_i$
- $N_D = \pm H_i / 2 \cos\alpha = \pm H$;
- $N_p = \pm (H_i / 2) \text{tg}\alpha = \pm 0,8995 H_i$

Sachant que chaque panneau est identifié par les deux angles « θ » correspondant à ses poteaux, les charges exercées sur les 07 panneaux de stabilité sont donc :

1. Panneau [12,85°, 64,28°]

- $H_2 = H \cdot \cos (64,28^\circ - 12,85^\circ) = 208,37 \text{ daN}$
- $R_{H2} = -H_2 / 2 = -104,185 \text{ daN}$
- $R_{v2} = H_2 \cdot \text{tg}\alpha = 374,86 \text{ daN}$
- $N_{D2} = \pm H_2 / 2 \cos\alpha = \pm 214,8 \text{ daN}$

2. Panneau [12,85°, 64,28°]

- $H_3 = H \cdot \cos (64,28^\circ - 64,28^\circ) = 334,21 \text{ daN}$
- $R_{H3} = -H_3 / 2 = -167,105 \text{ daN}$
- $R_{v3} = H_3 \cdot \text{tg}\alpha = 601,24 \text{ daN}$
- $N_{D3} = \pm H_3 / 2 \cos\alpha = 344,55 \text{ daN}$

3. Panneau [115,71°, 167,14°]

- $H_4 = H \cdot \cos(64,28^\circ - 115,71^\circ) = 208,37 \text{ daN}$
- $R_{H4} = -H_4/2 = -104,185 \text{ daN}$
- $R_{V4} = H_4 \cdot \text{tg}\alpha = 374,86 \text{ daN}$
- $N_{D4} = \pm H_4 / 2\cos\alpha = 214,8 \text{ daN}$

4. Panneau [167,14°, 218,57°]

- $H_5 = H \cdot \cos(64,28^\circ - 167,14^\circ) = -74,385 \text{ daN}$
- $R_{H5} = -H_5/2 = 37,19 \text{ daN}$
- $R_{V5} = H_5 \cdot \text{tg}\alpha = -133,82 \text{ daN}$
- $N_{D5} = \pm H_5 / 2\cos\alpha = \pm 76,68 \text{ daN}$

5. Panneau [218,57°, 270°]

- $H_6 = H \cdot \cos(64,28^\circ - 218,57^\circ) = -301,124 \text{ daN}$
- $R_{H6} = -H_6/2 = 150,56 \text{ daN}$
- $R_{V6} = H_6 \cdot \text{tg}\alpha = -541,72 \text{ daN}$
- $N_{D6} = \pm H_6 / 2\cos\alpha = \pm 310,44 \text{ daN}$

6. Panneau [270°, 321,43°]

- $H_7 = H \cdot \cos(64,28^\circ - 270^\circ) = -301,1 \text{ daN}$
- $R_{H7} = -H_7/2 = 150,55 \text{ daN}$
- $R_{V7} = H_7 \cdot \text{tg}\alpha = -541,68 \text{ daN}$
- $N_{D7} = \pm H_7 / 2\cos\alpha = \pm 310,41 \text{ daN}$

7. Panneau [321,43°, 12,85°]

- $H_8 = H \cdot \cos(64,28^\circ - 321,43^\circ) = -74,328 \text{ daN}$
- $R_{H8} = -H_8/2 = 37,16 \text{ daN}$
- $R_{V8} = H_8 \cdot \text{tg}\alpha = -133,72 \text{ daN}$
- $N_{D8} = \pm H_8 / 2\cos\alpha = \pm 76,63 \text{ daN}$

Le calcul précédent fait ressortir que le panneau le plus chargé est celui caractérisé par ses deux angles « θ » $64,28^\circ$ et $115,71^\circ$

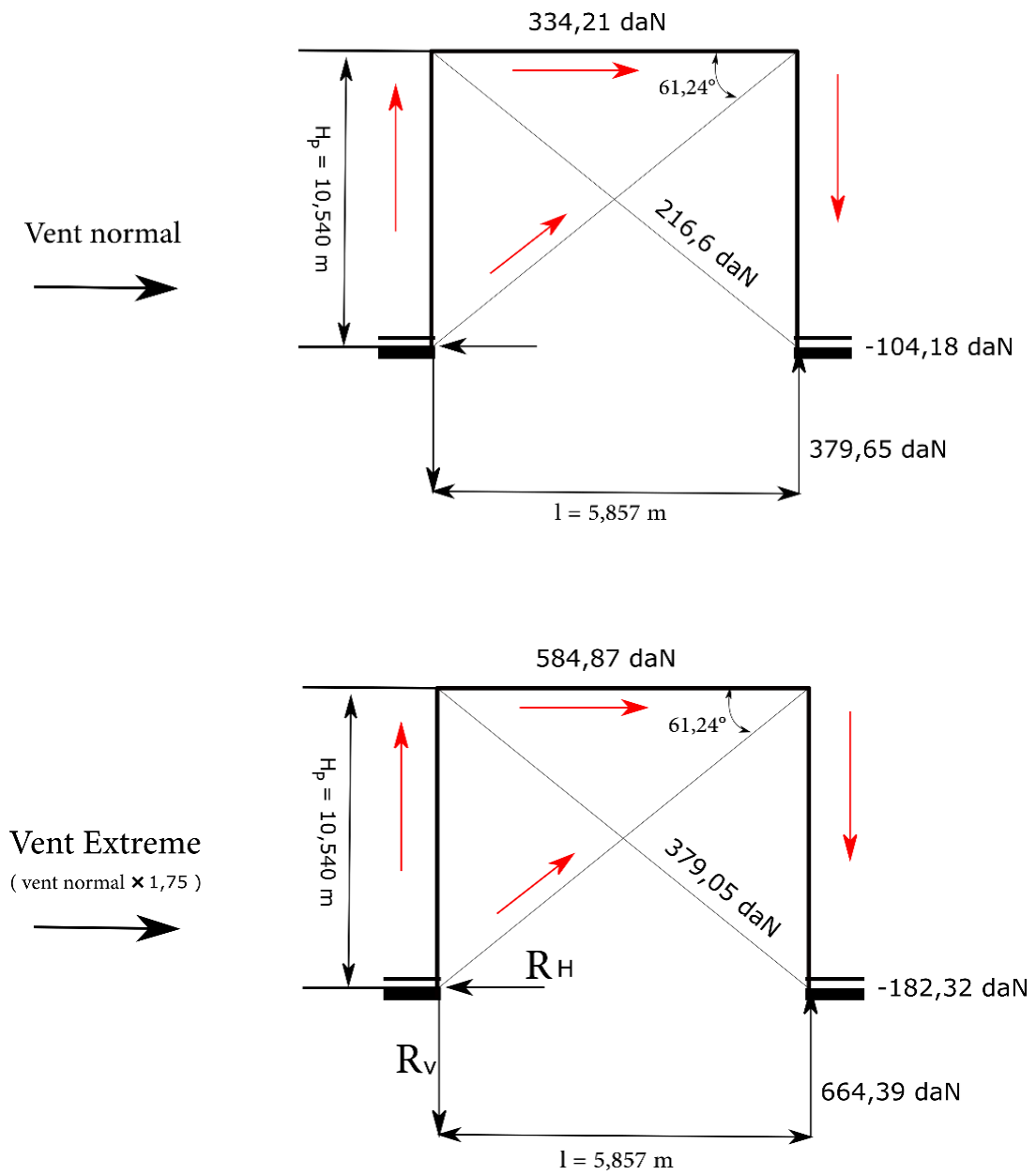


Fig II.3 : Le panneau le plus chargé

Partie 2 : Charges de la neige

D'après RNV99(P42) on va déterminer la charge nominale de neige à prendre en compte dans l'étude de notre réservoir implanté dans la zone B.

a- Données de calcul :

- Zone de neige : B

- Altitude : 250m

b- Action de la charge de neige :

Selon le RNV99 la charge de la neige est donnée par la formule suivante : $S = \mu \cdot S_K$

Avec :

S : charge caractéristique de la neige (KN/m²)

S_K : charge de la neige sur le sol (KN/m²)

μ : coefficient d'ajustement des charges.

Puisque SIDI RCINE(Alger) appartient à la zone B de la carte de la neige donc :

$$S_K = (0.04 \times H + 10) / 100$$

Avec H l'altitude par rapport au niveau de la mer H=250m

$$S_K = 0.2 \text{ KN/m}^2$$

On a une toiture toitures cylindriques

$$\text{Pour : } \beta \leq 60^\circ \implies \mu = 0,8$$

$$\text{Donc } S = 0.16 \text{ KN/m}^2 = 16,0 \text{ daN/m}^2$$

II.3 Conclusion :

L'étude climatique nous a permis de déterminer les charges du vent et de la neige les plus défavorables agissent sur le réservoir, Les valeurs obtenues sont :

- $Q_{\text{vent}} = Q_n = 584.87 \text{ daN/m}^2$.

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

- Pour la charge de neige sur le toit : $S = 16 \text{ daN/m}^2$ cette valeur est négligeable

Partie 03 : Etude Sismique

II.1 Introduction :

Le règlement parasismique Algérien classe les régions du pays en trois zones forte moyenne, ou faible sismicité et par suite prend les mesures nécessaires en conception et construction afin de fournir un degré de sécurité aux vies humaines et aux biens matériels

Le but de cette étude sismique est de déterminer les sollicitations engendrées par un éventuel séisme à chaque niveau de notre structure.

II.2 Méthodes de calcul :

Les critères de choix de la méthode de calcul nous permettent d'utiliser l'une des 3 méthodes retenues par le RPA99/version 2003, ces méthodes sont

- ✓ Méthode statique équivalente
- ✓ Méthode dynamique modale spectrale
- ✓ Méthode dynamique par accélérogramme

II.2-1 Critères de choix de la méthode :

Chaque structure doit être classée selon sa configuration en plan et en élévation et régulier ou non, selon les critères ci-dessous

❖ Régularité en plan :

La structure doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses

❖ Régularité en élévation :

Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation

Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet de la structure

Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan de la structure entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20 % dans les

deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale de la structure n'excède pas 1.5 fois sa plus petite dimension.

II.3 Classification du site :

Classification des zones sismiques :

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité d'après le règlement RPA99 version 2003 :

- ✓ Zone 0 : sismicité négligeable
- ✓ Zone I : sismicité faible
- ✓ Zone II : sismicité moyenne
- ✓ Zone III : sismicité élevée

Classification de la zone sismique (situation géographique): notre ouvrage est situé à SIDI ARCINE (wilaya d'Alger) dont la zone est III: zone à sismicité élevée (RPA99/version 2003). Classification selon leur importance : réservoir de stockage, c'est une structure de grande importance. Groupe 2. (RPA99/version 2003). Classification de site : (site ferme) : dépôt épais de sables et du graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec Site S2

II.4 L'appareillage :

Quelle soit la méthode sismique, on retrouve un certain nombre d'éléments communs dans les dispositifs expérimentaux :

- ✓ La source
- ✓ Le récepteur
- ✓ L'enregistreur

Ces éléments sont vitaux pour les méthodes sismiques : il est utile de rappeler leurs caractéristiques et sur quels critères sont faits les choix de sélections entre différents appareils ayant la même fonction

On utilise la méthode ondes de surface l'utilisation de ; cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissent à la structure :

Une ductilité suffisante.

La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures.

Après avoir analysée les différentes méthodes on a choisi la méthode statique équivalente

II.5 Méthode statique équivalente :

II.5-1 Principes de la méthode :

Le principe de la méthode est de remplacer les efforts tranchants dus à l'action sismique par des forces statiques fictives équivalentes.

II.5-2 Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure doit être calculée en même temps dans deux directions horizontales et orthogonales d'après la formule du RPA99.

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$$

V : La force sismique totale.

A : Coefficient d'accélération de la zone.

D : Facteur d'amplification dynamique moyen.

Q : Facteur de qualité.

W : Poids total de la structure.

- **Détermination du coefficient A :**

Le coefficient A est donné par le tableau 4.1 de (PRA 99version 2003) suivant la zone sismique qui est la zone III et le groupe d'usage du réservoir c'est (2)

RPA 99 édition 2003(règlement parasismique algériennes).

Donc $A = 0.25$

- **Détermination du facteur d'amplification moyen D :**

En fonction de la catégorie du site, du facteur de correction d'amortissement (η) Et de la période fondamentale de la structure (T).

Le facteur d'amplification dynamique moyen est donné par :

$$\begin{cases} 0 \leq T \leq T_2 \\ T_2 \leq T \leq 3 \text{ sec} \\ T \geq 3 \text{ sec} \end{cases} \Rightarrow D : \begin{cases} D_1 = 2,5\eta \\ D_2 = 2,5\eta \left[\frac{T_2}{T} \right]^{\frac{2}{3}} \\ D_3 = 2,5\eta \left[\frac{T_2}{3} \right]^{\frac{2}{3}} \times \left[\frac{3}{T} \right]^{\frac{5}{3}} \end{cases}$$

T_2 : Période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le tableau 4.7 du (RPA 99 version 2003).

Le facteur de correction d'amortissement est donné par :

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{7}{(2 + \zeta)} \right)} \geq 0,7$$

ζ : Le (%) d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Quand $\zeta = 0.5$ on a $\eta = 1$

D'après le tableau (4-2) de (RPA 99version2003) la valeur de (ζ) est de 5% et la période (T_2) est donnée par le tableau (4-7) de (RPA 99version 2003), sa valeur est : $T_2 = 0,40 \text{ sec}$

- **Calcul du coefficient η :**

Le coefficient η est donné par la relation suivante :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + \zeta)}} \geq 0,7$$

$\zeta = 5\% \Rightarrow \eta = 1$ Donc : tableau 4,2 page, 26 RPA 99 version 2003

- **Calcul de la période fondamentale T :**

La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir de la formule empirique ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

La formule empirique à utiliser est :

$$T = C_T (h_n)^{\frac{3}{4}}$$

C_T : Coefficient fonction, du système de contreventement, du type de remplissage et donnée par le tableau 4-6- du (RPA 99).

RPA 99 édition 2003(règlement parasismique algériennes).

h_n : Hauteur mesurée en (m) à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau.

$C_T = 0,085$ pour structure en acier et $h_n = 19$ m.

$$T = 0.085(19)^{3/4} = 0.77 \text{ sec}$$

On trouve que : $T_2 \leq T \leq 3,0$ sec

Donc le facteur d'amplification moyen D sera égale à

$$D_2 = 2,5\eta \left[\frac{T_2}{T} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$D = 1.6$$

- **Détermination du facteur de qualité Q :**

- ✓ Le facteur de qualité de la structure est en fonction de
- ✓ La redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent = 0,05.
- ✓ La qualité du contrôle de la construction = 0,05.
- ✓ La régularité en plan = 0.05.
- ✓ La régularité en élévation = 0,05.

Sa valeur est donnée par la formule si après : le tableau 4,4 RPA 99version 2003.

$$Q = 1 + \sum_{i=1}^n P_q.$$

P_q : La pénalité à retenir selon que le critère de qualité q "est satisfait ou non" sa valeur est donnée par la formule :

$$Q = 1 + 0,2 = 1,2$$

- **Détermination du poids total de la structure W :**

Le poids total de la structure est égal à la somme des poids W_i est donnée par la formule :

$$W = \sum_{j=1}^n W_j \quad \text{Avec :} \quad W = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

W_{Gi} : Poids du au charge permanents

β : Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation, leur valeur est donnée par le tableau 4.5 de (RPA 99 version 2003).

W_{Qi} : Poids du au charge d'exploitation.

L'ignifugeant est un mastic qui sert à isoler la structure de tout danger du feu

Poids de la sphère vide W_{Gi} :

$$W_{Gi} = \rho \cdot V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [R_{ext}^3 - R_{int}^3]. \quad \rho = 225712 \text{ kg}$$

Charge d'exploitation

V : volume de produit = 1000 m³

ρ : Masse volumique du fluide = 518 kg/m³

W : produit = 518000 kg

D'après ASME le poids des accessoires et pris entre 5% à 8% du poids de la sphère vide.

On prend 8%

Donc : $W_{acc} = W_{Gi} \times 8\%$

$$W_{acc} = 225712 \text{ kg} \times 8\% \approx 18000 \text{ kg} = 18 \text{ tonnes}$$

Tableau II.1 : Poids total de la sphère :

Poids de la sphère vide	$W_{GI} = 225700\text{kg} = 225,7 \text{ tonne}$
Masse volumique du fluide	$\rho = 518000\text{kg} = 518 \text{ tonne}$
Poids des accessoires	$W_{acc} = 18800\text{kg} = 18,8 \text{ tonne}$
Poids de l'ignifugeant	$W_i = 7300\text{kg} = 7,3 \text{ tonne}$
Poids des colonnes (estimé)	$W_{col} = 23000\text{kg} = 23 \text{ tonne}$
Poids de contreventement (estimé)	$W_{cnv} = 120400\text{kg} = 120,4 \text{ tonne}$
Poids total	$W_T = 913200\text{kg} = 913,2 \text{ tonne}$

- **Détermination du coefficient de comportement global R :**

La valeur de R est unique est donnée par le tableau 4-3- de (RPA 99.), en fonction du système de contreventement, sa valeur est égale = 4 (construction en aciers et Ossature contreventée par palées triangulées en X).

Donc l'action sismique v est :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W$$

$$V = \frac{0,25 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{4} \times 913153 \text{ kg} = 109972 \text{ kg} = 109,972 \text{ tonnes}$$

II.6 Conclusion :

Nous avons déterminé l'effet \vec{V} qui sera appliqué pour le dimensionnement des éléments des supports de la sphère en cas de séisme.

CHAPITRE III

Etude de la Charpente et de l'escalier

Partie 01 : Etude de la Charpente

III.1 Introduction :

Notre sphère est supportée par des poteaux à section tubulaire que nous allons dimensionner dans ce chapitre

Nous utilisons la norme l'EUROCOD ainsi que le logiciel de calcul ROBOT MILLENIUM. **EUROCODE** c'est les normes **européennes** de conception, de dimensionnement et de justification des structures

III.2 Conception et dimensionnement des poteaux :

Dans ce chapitre, on va vérifier la résistance des poteaux choisis, aux différents efforts.

➤ **Volume de L'acier de la structure sphérique V :**

$$V = \frac{4}{3}\pi (R_e^3 - R_i^3) = \frac{4}{3}\pi (6,799^3 - 6,75^3) = 28,24\text{m}^3$$

➤ **Poids de la sphère W_s :**

$$W_s = \rho \cdot V$$

Avec : ρ = la masse volumique de l'acier = 7850kg/m³

V = volume de l'acier de la structure sphérique

$$W_s = 7850 \cdot 28,24 = 225712\text{kg}$$

➤ **Poids de l'accessoire W_a :**

D'après L ASME le poids des accessoires entre 5% à 8% du poids total

$$W_{\text{accessoire}} = 18000\text{kg}$$

➤ **Poids total de la sphère W_t :**

$$W_t = W_s + W_a$$

$$W_t = 225712 + 18000 = 243712\text{kg} = 243,712\text{tonnes}$$

➤ **Surcharge d'exploitation (poids de propane) W_{exp} :**

$$W_{exp} = \rho_p \cdot V_p$$

Avec $\rho_p = 515 \text{kg/m}^3$ la masse volumique de propane

$V_p =$ volume de propane utile

$$W_{exp} = 515 \cdot 1000 = 515000 \text{kg} = 515 \text{tonne}$$

➤ **Surcharge d'épreuve ou de l'eau W_e :**

$$W_e = \rho_{eau} \cdot V_t$$

Avec $\rho_{eau} = 1000 \text{kg/m}^3$ la masse volumique de l'eau

$V_t =$ volume total de la sphère

$$W_e = 1000 \cdot 1280 = 1280000 \text{kg} = 1280 \text{t}$$

III.2-1 Combinaison des charges :

D'après le règlement EUROCODE 3 partie 1 on a :

$$\frac{4}{3} P_p + \frac{3}{2} P_{exp}$$

Avec $P_p = W_t =$ poids total de la sphère ($W_a + W_s$)

$P_{exp} = W_e =$ Surcharge d'épreuve ou de l'eau

$$\frac{4}{3} P_p + \frac{3}{2} P_{exp} = \frac{4}{3}(243712) + \frac{3}{2}(1280000) = 324949 + 1920000 = 2244949 \text{kg} = 2,244 \cdot 10^3 \text{t}$$

➤ **Le nombre des poteaux n :**

Pour des raisons de bon fonctionnement (assemblage facile avec la sphère, cordon de soudure assez long) on adopte des poteaux ronds creux (tube).

La détermination du type et du nombre des poteaux, est liée à la capacité du réservoir, on adopte des profils ronds creux en nombre de 7, dont les caractéristiques sont :

- ✓ Diamètres intérieur du poteau = 747,7mm
- ✓ Diamètre extérieur du poteau = 762mm
- ✓ Epaisseur du poteau = 14,3mm

$$\text{Section du poteau} = \pi (R_{\text{ext}}^2 - R_{\text{int}}^2) = \pi [(381)^2 - (366,7)^2]$$

$$S = 33573,2 \text{ mm}^2$$

III.2-2 Vérification des poteaux :

La structure est bien contreventée, et chaque poteau est lié à des diagonales de contreventements à ses extrémités. Ceci permet une meilleure transmission des efforts horizontaux, provoquant la flexion des poteaux, aux fondations. De plus, puisque les poteaux ronds ne déversent pas grâce à leur symétrie, alors ils sont sollicités uniquement au flambement simple dû aux efforts de compression

➤ **Charge sur chaque poteau :**

$$P = \frac{2244949}{7} = 320707 \text{ kg}$$

III.2-3 Contraintes sollicitent les poteaux :

$$W_p = 243712 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{W_p}{S} = \frac{243712}{33573,2} = 7,26 \text{ kg/mm}^2$$

La contrainte sur chaque poteau

$$\sigma_p = \frac{7,26}{7} = 1,03 \text{ kg/mm}^2$$

➤ **Poids de service : la contrainte en service est :**

$$\sigma_{\text{exp}} = \frac{W_{\text{exp}}}{S} = \frac{515000}{33573,2} = 15,33 \text{ kg/mm}^2$$

❖ **La contrainte en service sur chaque poteau**

$$\sigma_{\text{exp}P} = \frac{15,33}{7} = 2,19 \text{ kg/mm}^2$$

➤ **Poids d'épreuve : la contrainte en épreuve :**

$$\sigma_e = \frac{W_e}{S} = \frac{1280000}{33573,2} = 38,12 \text{ kg/mm}^2$$

- ❖ La contrainte en éprouve sur chaque poteau

$$\sigma_e P = \frac{38,12}{7} = 5,44 \text{ kg/mm}^2$$

III.3 Vérification de la résistance à la compression :

- Caractéristiques de profil rond creux de diamètre de 762 mm

Tableau III.1 : Les caractéristiques de profilé

h(mm)	b(mm)	t _w (mm)	P(kg/m)	S Cm ²	I Cm ⁴	I/V Cm ³	ρ Cm
10670	762	14.3	263.7	335,91	234,821	6,163	26,440

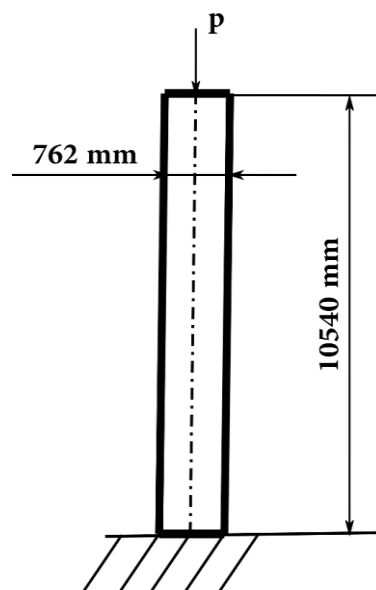


Fig III.1 : Modalisation d'un poteau encastré des deux extrémités

III.3-1 Vérification de la résistance à la compression :

On a :

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,81$$

$f_y = 355$ Mpa la limite élastique de l'acier E36.

ε : coefficient de réduction élastique.

D'après le EUROCODE 3 tableau 5.3.1, le rapport largeur –épaisseur maximal pour parois comprimées :

$$d/t = 70 \quad \text{donc la section transversale est de la classe 4}$$

$$\text{Soit : } B_A = A_{\text{eff}} / A = 1$$

Avec :

$$A_{\text{eff}} = A = \pi (R_{\text{ext}}^2 - R_{\text{int}}^2)$$

$$A = 3,14(395,3^2 - 381^2)$$

$$A = 35354 \text{ mm}^2 = 0,035354 \text{ m}^2 \quad (\text{la section efficace})$$

➤ **Calcul de l'élancement λ pour le mode de flambement :**

$$\lambda = \ell / i$$

i : rayon de giration suivant l'axe concerné

$$i = \sqrt{I/A} = \sqrt{3,0359/0,035354} = 9,26 \text{ m}$$

➤ **La longueur de flambement :**

$$\frac{\ell}{L} = 0,5 \quad \longrightarrow \quad \ell = 0,5 \times 7,540 = 3,77 \text{ m}$$

$L = 7,540$ c'est la longueur de Poteau jusqu'à la stabilité

$$\text{L'élancement } \lambda = \ell / i = 3,77/9,26 = 0,40$$

$$\lambda = 0,40$$

➤ **Calcul de l'élancement réduit :**

$$\bar{\lambda} = (\lambda/\lambda_M) [B_A]^{0,5}$$

$$\lambda_M = 93,9 \times \varepsilon = 76,059 \quad \text{d'après l'EUROCOD}$$

$$\text{Donc } \bar{\lambda} = (0,40/76,059) [1]^{0,5}$$

$$\bar{\lambda} = 0,00526$$

D'après EUROCODE 3 page 169 ; le risque de flambement d'un élément comprimé n'est pas à considérer si l'élancement réduit $\bar{\lambda} \leq 0,2$

On a $0,005 \leq 0,2$

Donc il n'a pas de risque de flambement dans notre cas de poteaux

III.4 Etude des éléments secondaires : (contreventement)

Chaque poteau est contreventé par deux diagonales à ses extrémités. L'une des diagonales travaille en traction, tandis que l'autre en compression. Si cette vérifie la stabilité a la traction, on pourra se dispenser de vérifier l'autre au flambement

Les stabilités ont pour fonctions principales de reprendre et transmettre aux fondations les efforts dus aux forces horizontales sollicitant un ouvrage tel que : vent, effets de séisme, chocs, etc. L'importance des stabilités est très grande, elles représentent le facteur principal de la sécurité d'un ouvrage

Dans notre cas, l'effort principal de vérification est celui du au séisme c'est le cas le plus défavorable

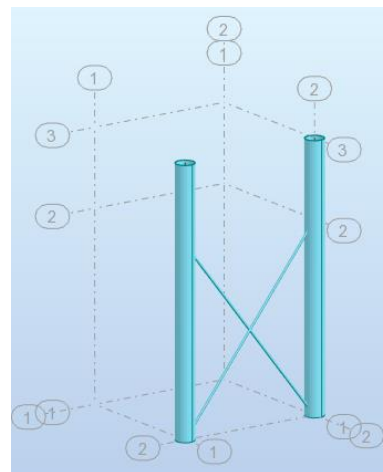
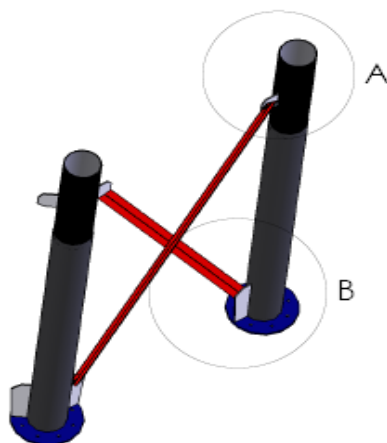


Fig III.2 Figure de la stabilité

III.4-1 Réactions aux pieds de poteaux :

On a :

$$\sum \vec{F}_{ex} = \vec{0}$$

$$\begin{cases} O_{x/} = R_{HA} + F = 0 & \dots \dots (1) \\ O_{y/} = R_{VA} - R_{VD} = 0 & \dots \dots \\ R_{HA} = -F \\ R_{VA} = R_{VD} \end{cases}$$

$$\sum \vec{M}_{ex/A} = \vec{0}$$

$$(F \times h) + (R_{VD} \times X) = 0 \quad \dots \dots (2)$$

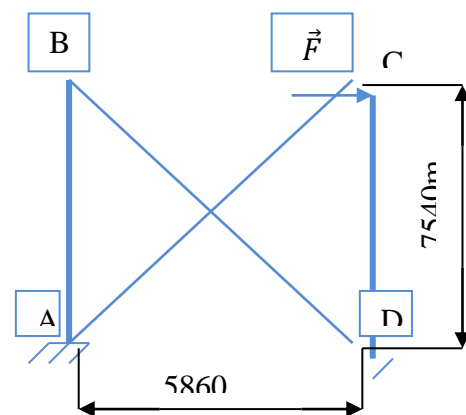


Fig III.3 Palée de stabilité

$$R_{VD} = -\frac{F \times h}{X} = -\frac{15710 \times 7,540}{5,860} = -20214kg$$

En remplace (2) dans (1)

On obtient respectivement :

$$\begin{cases} R_{HA} = -15710kg \\ R_{VA} = -20214kg \\ R_{VD} = -20214kg \end{cases}$$

III.4-2 Calculs des efforts internes :

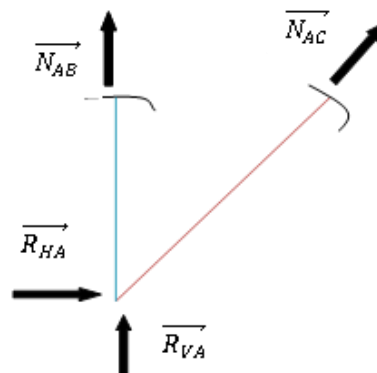
On a :

$$\theta = \text{Arctg} \frac{7,54}{5,86} = 52^\circ$$

Nœud A : Equilibre du Nœud A

$$\sum \overrightarrow{F_{ex/B}} = \vec{0}$$

$$\begin{cases} N_{AB} = 0 \\ N_{BA} = 0 \end{cases}$$



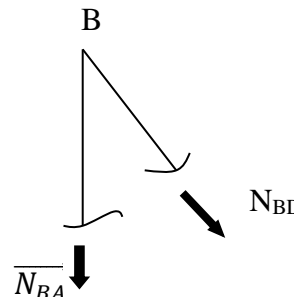
Nœud B : Equilibre du Nœud B

$$\sum \overrightarrow{F_{ex/A}} = \vec{0}$$

$$\begin{cases} O_{x/} = R_{HA} + N_{AC} \cos \theta = 0 \\ O_{y/} = R_{VA} + N_{AC} \sin \theta + N_{AB} = 0 \end{cases}$$

Donc :

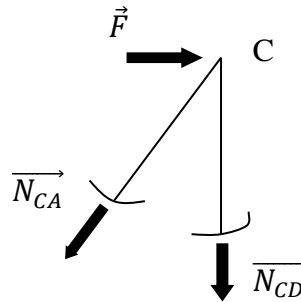
$$\begin{cases} N_{AC} = \frac{R_{HA}}{\cos \theta} = \frac{-15710}{\cos 52} = -25517kg \\ N_{AB} = -R_{VA} - N_{AC} \sin \theta = 20214 - 25517 \sin 52 = 106kg \end{cases}$$



Nœud C : Equilibre du Nœud C

$$\sum \vec{F}_{ex/C} = \vec{0}$$

$$\begin{cases} O_{x/} = F - N_{CA} * \cos \theta = 0 \\ O_{y/} = -N_{CD} - N_{CA} * \sin \theta = 0 \end{cases}$$



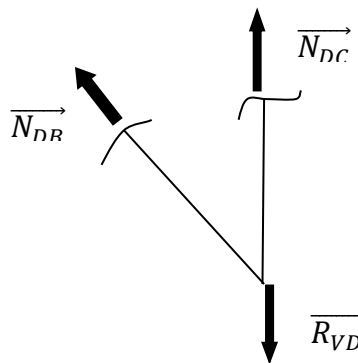
Donc :

$$\begin{cases} N_{CA} = \frac{F}{\cos \theta} = \frac{15710}{\cos 52} = 25517kg \\ N_{CD} = -N_{CA} \times \sin 52 = -25517 \times \sin 52 = -20107kg \end{cases}$$

Nœud D : Equilibre du Nœud D

$$\sum \vec{F}_{ex/D} = \vec{0}$$

$$\begin{cases} O_{x/} = N_{BD} * \cos \theta = 0 \\ N_{DC} - R_{VD} + N_{BD} \sin \theta = 0 \end{cases}$$



Donc :

$$\begin{cases} N_{BD} = 0 \\ N_{DC} = R_{VD} = -20214kg \end{cases}$$

On résume les efforts internes dans le tableau suivant

Tableau III.2 : Efforts internes dans les barres

Noeuds	Axe	Effort(kg)	Noeuds	axe	Effort(kg)
A	x	-25517	C	x	25517
	y	106		y	20107
B	x	0	D	x	0
	y	0		y	-20214

III.4-3 Section des diagonales :

L'une des diagonales travaille en compression, tandis que l'autre en traction. Si cette dernière vérifie la stabilité, on pourra se dispenser de vérifier l'autre à la traction.

Dans notre cas la formule pour laquelle nous avons obtenu la plus petite valeur :

$$A \geq \frac{N_{sd} \times \gamma_{M1}}{f_y} = \frac{255,17 \times 1,1}{355 \times 10^{-3}} = 790,6 \text{ mm}^2 = 7,9 \text{ cm}^2$$

Donc On prend les diagonales de section $>7,9 \text{ cm}^2$

On prend des tubes rend creux de section $A=11,66 \text{ cm}^2$

Diamètre = 88.9mm

Epaisseur = 4mm

III.4-4 Vérification des diagonales à la traction :

La valeur de calcul de l'effort de traction N_{Ed} dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante :

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

a) la valeur de calcul de la résistance de la section transversale brute :

$$N_{plrd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

où : A = représente l'aire brute de la section transversale ;

f_y = représente la limite élastique de l'acier ;

γ_{M0} = représente le coefficient partiel de sécurité pour l'acier.

b) La valeur de calcul de la résistance ultime de la section nette :

$$N_{urd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot F_u / \gamma_{M2}$$

Où :

A_{net} = représente l'aire nette de la section transversale

f_u = représente la limite de rupture de l'acier

γ_{M2} = représente le coefficient partiel de sécurité pour l'acier

Le facteur 0,9 est un coefficient de réduction supplémentaire, prenant en compte les excentricités inévitables, les Concentrations de contraintes ... etc.

$$N_{Rd} = \min(N_{PL}; N_u; N_{net})$$

$\gamma_{M0} = 1,1$: Section brute de classe 4.

$\gamma_{M2} = 1.25$: Section nette au droit des trous.

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2; f_u = 470 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{net} = A - A_{vide}$$

Avec : $A_{vide} = t \times d$

t : épaisseur = 4

d : diamètre = 30

$$A_{net} = 1166 - 2(4 \times 30) = 926 \text{ mm}^2$$

$$N_{plrd} = A f_y / \gamma_{M0} = 376,300 \text{ KN}$$

$$N_{uRd} = 0,9 A_{net} f_y / \gamma_{M2} = 313,358 \text{ KN}$$

$$N_{net} = A_{net} f_y / \gamma_{M0} = 298,845 \text{ KN}$$

$$N_{Rd} = \min(N_{pl}; N_{uRd}; N_{net}) = 298,845 \text{ KN}$$

$$N_{sd} = 255,17 \text{ KN} < N_{Rd} = 298,845 \text{ KN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Donc la Condition est vérifiée.

III.5 Conclusion :

Les conditions de vérification des Poteaux d'après l'EUROCODE 3 sont vérifiées pour les poteaux de diamètre 762 mm, on prend des poteaux creux de diamètre normalisé 762 mm d'épaisseur 14,3. ainsi que des diagonal en profil tube rend creux de diamètre 88,9mm et d'épaisseur 4 mm pour leur disponibilité sur le marché.

Partie 02 : Calcul de l'escalier

- ✓ Un escalier et une suite de marche que permet de passer d'un niveau à un autre.
- ✓ Un palier dont la fonction est de permettre un repos pendant la montée, est une aire plane située à chaque étage au départ et à l'arrivée d'une volée d'escalier. Placé entre deux niveaux on parle de palier intermédiaire
- ✓ Une volée est une partie droit ou courbe d'escalier comprise entre deux paliers successifs.
- ✓ Les marches peuvent être encadrées entre deux limons ou reposer sur un ou deux limons.

III.1 Etude de vent :

L'action du vent sur l'escalier est donnée par la relation suivante

$$Q_{\text{vent}} = q_h \cdot k_m \cdot k_s \cdot \beta \cdot \delta \cdot C$$

Tels que :

$$q_H = 2.5 \frac{18,8+18}{18,8+60} \cdot q_{10} = 58,37 \text{ daN/m}^2 \text{ et } q_{10} = 50 \text{ daN/m}^2$$

$k_s = 1$; Coefficient de site. (RNV65 modéf,Avr2000 Tab 08 Page 28)

$k_m = 1$; Coefficient de masque(RNV65 modéf,Avr2000 1,243 Page 29)

$\beta = 1$; Coefficient de majoration dynamique

$\delta = 0,77$; Coefficient de réduction de pression dynamique(RNV65 mdéf,Avr2000 fig R-III-2 Page 30) l'élément st isolé $H < 30$ m

III.1-1 L'action résultante :

- **Face au vent :**

$\alpha = 45^\circ \implies C = + 0,92$: Du bord d'attaque (A) au bord de fuite (B)

- **Face sous le vent :**

C : varie linéairement du bord d'attaque A au bord de fuite B.

D'après (RNV65 4,223 page 61) on obtient sur bord d'attaque

$$A = 0,92 - 1,68 = - 0,76$$

$$B = 0,92 - 0,95 = - 0,03$$

$$D'o\grave{u} : C = (0,92 - (- 0,76)) = 1,68$$

L'action du vent sur l'escalier est donc

$$Q_{vent} = q_h \cdot k_m \cdot k_s \cdot \beta \cdot \delta \cdot C$$

$$Q_{vent} = 58,37 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,77 \cdot 1,68 = 75,5 \text{ daN/m}^2$$

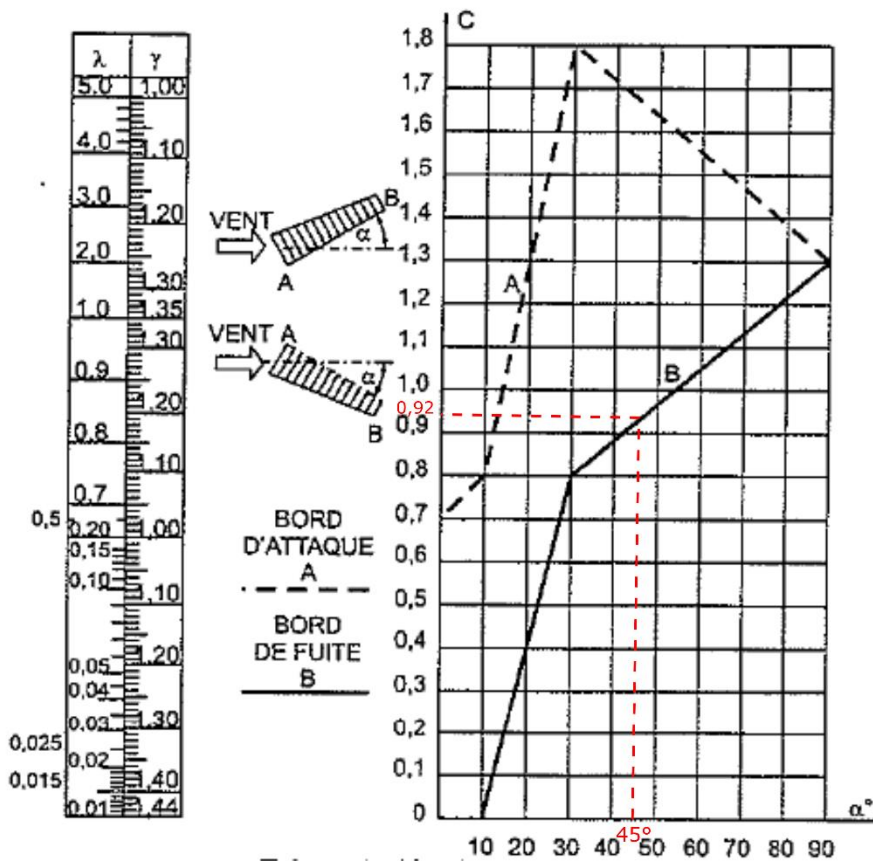


Fig III.4 Toitures isolées à un versant vent normal au bord horizontal
Coefficient C
 (RNV65 4,223 page 61)

III.2 Dimensionnement des escaliers :

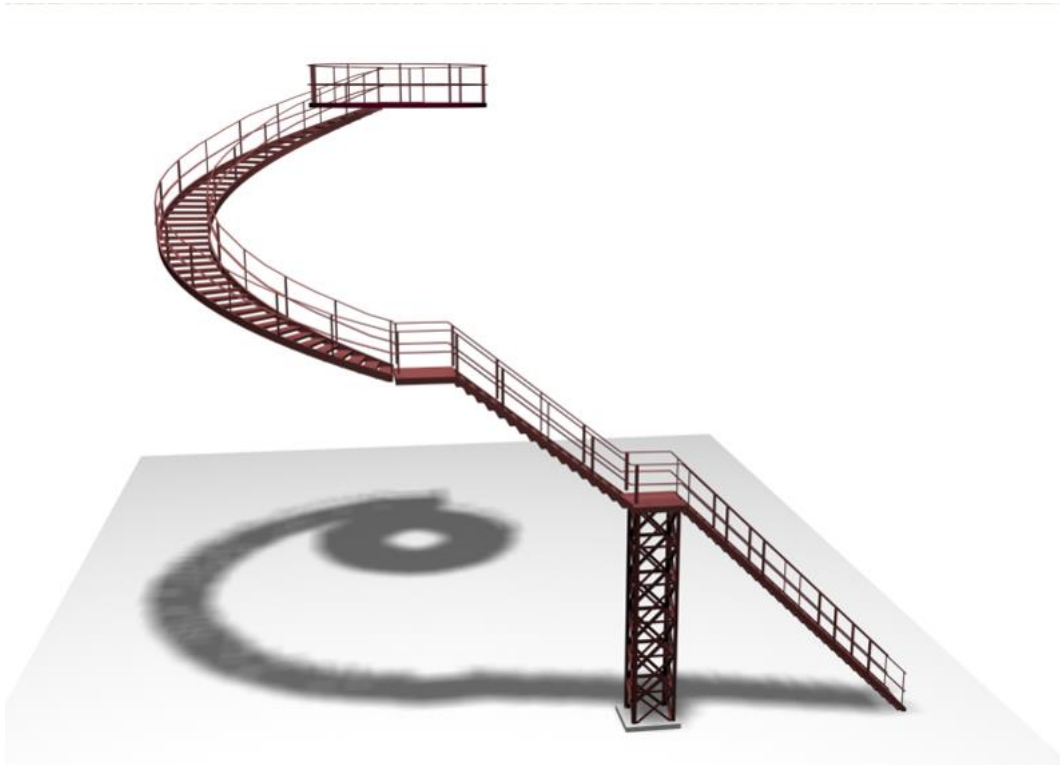


Fig III.5 : Vue de l'escalier

III.2-1 Dimensionnement des marches :

a. Détermination des charges :

- Charges permanentes q_p :

$$q_p = C_t + C_c$$

Tels que :

C_t : poids de la tôle striée des marches, de dimension (800. 300. 3) mm

Le poids propre des tôles est $P_t = 44,5 \text{ daN/m}^2$

Donc $C_t = 44,5 \times 0,3 = 13,35 \text{ daN/m}^2$

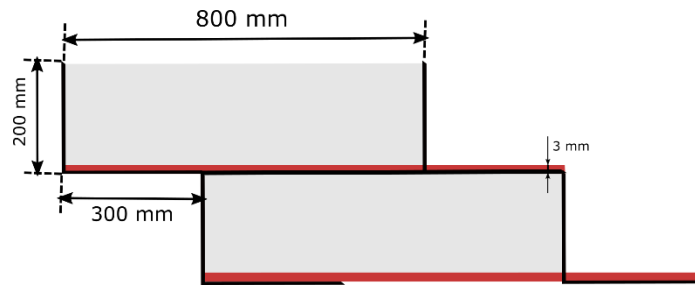


Fig III.6 Dimensions des marches

C_c : poids de la cornière, de dimension L (40. 40. 6) mm

$C_c = 3,52 \text{ daN/m}^2$

Donc $q_p = 13,35 + 3,52 = 16,87 \text{ daN/m}^2$

- Charge d'exploitation :

$q_{\text{exp}} = 100 \text{ daN/m}$ (le poids d'un ouvrier avec sa caisse à outils soit $p \approx 100\text{kg}$ ponctuelle)

- Charge due au vent :

$q_{\text{vent}} = 75,5 \text{ daN/m}^2$ (L'action du vent sur l'escalier)

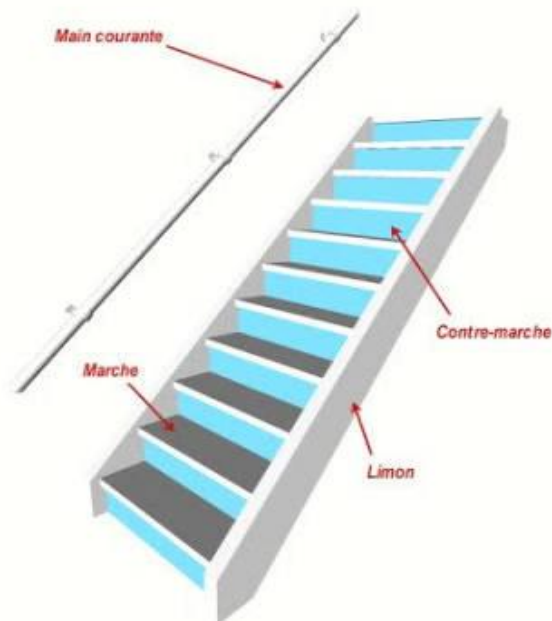


Fig III.7 Les composants de l'escalier

b. Détermination des contraintes :

- **Contrainte due au vent :**

$$\sigma_v = \frac{M_f}{W_y}$$

$$M_f = \frac{q_v \cdot l^2}{12} = \frac{75,5 \cdot \cos 45^\circ \cdot 0,8^2}{12} = 2,85 \text{ daN.m}$$

$$W_y = \frac{I_y}{V_y} \quad \text{avec } I_y = \frac{0,3 \cdot 30^3}{12} = 675 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{675}{12} = 56,25 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_v = \frac{2,85 \cdot 100}{56,25} = 5,06 \text{ daN/cm}^2$$

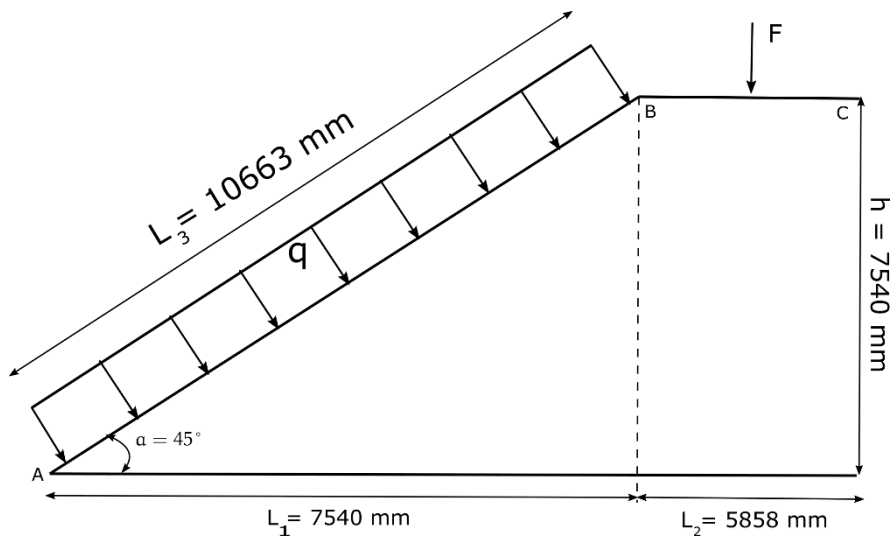


Fig III-8 Dimensions de charge d'un escalier

- **Contraintes dues aux charges d'exploitation :**

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

$$M_f = \frac{q_{exp} \cdot l^2}{12} = \frac{100 \cdot 0,8^2}{12} = 5,33 \text{ daN/m}$$

$$\sigma_{exp} = \frac{M_f}{W_x} = \frac{5,33 \cdot 100}{56,25} = 9,48 \text{ daN/cm}^2$$

- **Charge permanente :**

$$M_f = \frac{q_p \cdot l^2}{12} = \frac{16,87 \cdot 0,8^2}{12} = 0,9 \text{ daN.m}$$

$$\sigma_p = \frac{M_f}{W_y} = \frac{0,9 \cdot 100}{56,25} = 1,6 \text{ daN/cm}^2$$

- c. **Combinaison des charges :**

$$\frac{17}{12} (\sigma_{exp} + \sigma_{vent}) + \frac{4}{3} \sigma_p$$

$$\frac{17}{12} (9,48 + 5,06) + \frac{4}{3} (1,6) = 22,73 \text{ daN/cm}^2 < 2400 \text{ daN/cm}^2$$

Donc le dimensionnement des marches est vérifié

III.3 Dimensionnement des limons :

III.3-1 Prédimensionnement des limons :

La vérification est faite pour le premier tronçon qui est le plus sollicité par les actions de flexion et de compression

$$\cos 45 = \frac{H}{250} \implies H = 250 \cdot \cos 45 \implies H \geq 117 \text{ mm}$$

Soit à choisir le profile UAP 250 ; H = 250 mm (memotech 4 page 54)

$$Q = C_p + C_{exp} + C_{vent}$$

$$C_p = 44,5 \times 0,8 = 35,6 \text{ daN/m} \dots\dots\dots \text{ charge permanente}$$

$$C_{exp} = 100 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{ Charge d'exploitation}$$

$$C_{vent} = 105,84 \times \cos 45 \times 0,8 = 59,87 \text{ daN/m} \dots\dots\dots \text{ charge du vent}$$

$$Q = 35,6 + 100 + 59,87 = 195,47 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{ charge totale}$$

$$F = \frac{5 \cdot Q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \leq \frac{L}{200} \implies I_x = \frac{1000 \cdot Q \cdot L^3}{384 \cdot E}$$

$$I_x = \frac{1000 \cdot 1,9547 \cdot (1066,32)^3}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6} = 2939 \text{ cm}^4$$

On adopte comme profil **UAP 250** qui possédé les caractéristiques suivent :

Tableau III.3 : Les caractéristiques de profil UAP250

UAP 250	$I_x \text{ (cm}^4\text{)}$	$I_y \text{ (cm}^4\text{)}$	$W_x \text{ (cm}^3\text{)}$	$W_y \text{ (cm}^3\text{)}$	P (kg/m)	A (cm ²)	$i_y \text{ (cm)}$
	4136,42	295,44	330,91	48,87	34,38	43,80	2,6

Les limons sont sollicités en flexion et en compression, il y a lieu de procéder à la vérification comme suit :

$$K_I \sigma + \sigma_f K_f \leq \sigma_e \dots\dots\dots(\text{CM66 3,521})$$

$$Q = \frac{17}{12} (C_{\text{exp}} + C_{\text{vent}}) + \frac{4}{3} C_p$$

$$\Rightarrow Q = \frac{17}{12} (100 + 59,87) + \frac{4}{3} (35,6) = 273,95 \text{ daN/m}$$

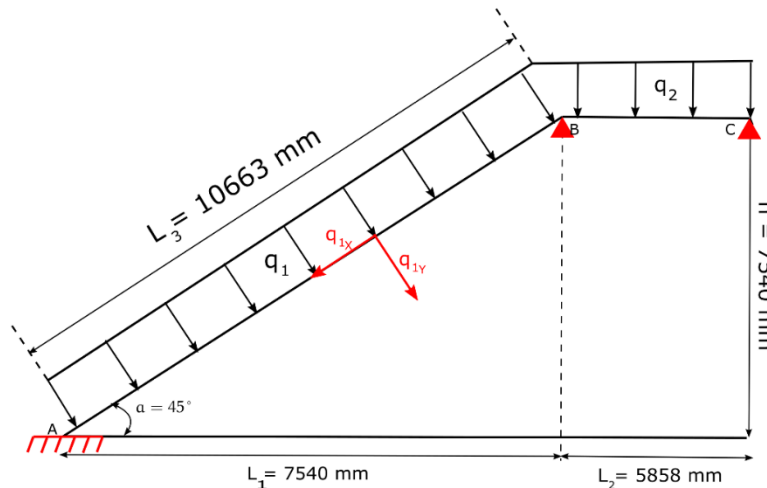


Fig III.9 Dimensions de charge d'un limon

III.3-2 Charge de compression :

$$Q_c = Q \times \cos 45 \times L$$

$$Q_c = 273,95 \times \cos 45 \times 10,66 = 2065 \text{ daN}$$

Soit, en fin de compte, deux profils **UAP 250**

$$Q_c = \frac{2065}{2} = 1032,5 \text{ daN}$$

III.3-3 Contrainte de compression :

$$\sigma_c = \frac{Q_c}{A} = \frac{1032,5}{43,80} = 23,57 \text{ daN/cm}^2$$

III.3-4 Charge de flexion :

D'après (CM66 3,4)

$$Q_f = Q = 273,95 \text{ daN/m}$$

$$M_f = \frac{QL^2}{8} = \frac{273,95 \cdot (10,66)^2}{8} = 3891,31 \text{ daN.m}$$

III.3-5 Contrainte de flexion :

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_x} = \frac{3891,31 \cdot 10^2}{330,91} = 1176 \text{ daN/cm}^2$$

Contrainte critique d'EULER :

$$\sigma_k = \frac{E \cdot \pi^2}{\lambda^2} \dots\dots\dots (\text{CM66 3,401})$$

$$\lambda = \frac{l}{i} \quad \text{tels que :}$$

- l : longueur de flambement
- i = i_y : sur le plan de flambement

$$\lambda = \frac{1066,32}{2,6} = 410,12$$

$$\sigma_k = \frac{E \cdot \pi^2}{\lambda^2} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot (3,14)^2}{(410,12)^2} = 123,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$\mu = \frac{\sigma_k}{\sigma_c} = \frac{123,1}{23,57} = 5,22$$

$$K_L = \frac{\mu - 1}{\mu - 1,3} = 1,08 \dots\dots\dots (\text{CM66 3,401})$$

$$K_f = \frac{\mu + 0,03}{\mu - 1,3} = 1,34 \dots\dots\dots (\text{CM66 3,512})$$

$$K_L \sigma + \sigma_f K_f \leq \sigma_e$$

$$\Rightarrow (1,08) (23,57) + (1176) (1,34) = 1601,3 \text{ daN/cm}^2 \leq 2400 \text{ daN/cm}^2$$

Ce que confirme que le risque de flambement est totalement écarté

III.4 Dimensionnement des paliers des escaliers :**III.4-1 Vérification de L'UAP 200 :**

Leur caractéristique est :

$$P = 21,1 \text{ kg/m}$$

$$P_t = 44,5 \text{ daN/m}^2 \text{ (le poind propre des tôles)}$$

$$C_p = (44,5 \times 0,8) / 2 + 25,1 = 42,9 \text{ daN/m}$$

$$C_{\text{exp}} = (250 \times 0,8) / 2 = 100 \text{ daN/m}$$

$$C_{\text{vent}} = (105,84 \times 0,8) / 2 = 42,34 \text{ daN/m}$$

$$Q = \frac{17}{12} (C_{\text{exp}} + C_{\text{vent}}) + \frac{4}{3} C_p$$

$$\Rightarrow Q = \frac{17}{12} (100 + 42,34) + \frac{4}{3} (42,9) = 258,85 \text{ daN/m}$$

III.4-2 Contrainte des charges :

$$\sigma = \frac{QL^2}{8} \frac{1}{W_x} = \frac{258,85 \cdot 10^2}{8 \cdot 195} = 16,59 \text{ daN/cm}^2$$

Donc :

$$\sigma \leq \sigma_e \dots\dots\dots \text{Vérifié}$$

III.4-3 Dimensionnement de poteau d'escalier :

$d = 219,1 \text{ mm}$ (le diamètre de poteau)

$t_w = 3,2 \text{ mm}$ (l'épaisseur de poteau)

$S = 21,7 \text{ cm}^2$ (la section de poteau)

$L = 7540 \text{ mm} = 7,54 \text{ m}$ (la longueur de poteau)

D'après les conditions de calcul de projet on doit vérifier la formule

$$\sigma \leq \sigma_e : \sigma = \sigma_e / 1,5$$

$$\sigma = P/S$$

P : charge sur un poteau en daN

S : section du poteau en mm^2

Alors notre formule devient :

$$P/\sigma = S \text{ ou } P = S \times \sigma$$

$$S = \pi (D_{\text{ext}}^2 - D_{\text{int}}^2) / 4$$

$$S = 3,14 (219,1^2 - 215,9^2) / 4$$

$$S = 1093 \text{ mm}^2 = 10,93 \text{ cm}^2$$

- **Calcul de charge sur un poteau :**

$$P = \sigma \times S = (\sigma_e / 1,5) \times S$$

$$P = (27,5/1,5) \times 10,93 = 200,38 \text{ daN}$$

- **Vérification au flambement :**

(le Poteau est bi-encasté)

D'après L'EUROCOD 3 vérifier la condition suivant :

$$N_{sd} \leq N_{brd}$$

$$N_{sd} = P = 200,38 \text{ daN}$$

$$N_{brd} = \frac{x \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{mo}}$$

Avec : $\gamma_{mo} = 1,1$

et $\beta_A = A_{eff}/A = 1.$

Avec : $A_{eff} = A = 21,7 \text{ cm}^2$ (la section efficace).

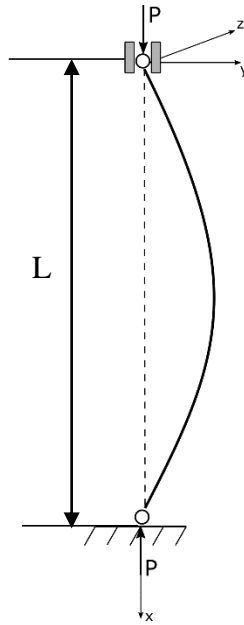


Fig III.10 Modélisation d'un poteau au flambement

$$x = \frac{1}{\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0,5}} \leq 1$$

$$\phi = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

α : facteur d'imperfection 0,21

On à :

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0,92$$

$f_y = 275 \text{ Mpa}$ (la limite élastique de profils creux ronds finis à froid NF A 49-541)*

ε : Coefficient de réduction élastique.

* : NF A 49-541 pour les profils Creux finis à froid pour charpente et construction métallique De limite d'élasticité 235 et 275 Mpa sont calculés au flambement d'après la courb e établie Par la Convention Européenne de la Construction Métallique (CECM).

D'après le EUROCODE 3 tableau 5.3.1 ; le rapport largeur – épaisseur maximal pour parois comprimées :

$d/t_w = 68,47$. Donc la section transversal est de la classe 4.

III.4-4 Vérification :

- **Calcul de l'élancement λ pour le mode de flambement :**

$$\lambda = \ell/i$$

i : Rayon de giration suivant l'axe concerné.

$$i = \sqrt{I/A} = \sqrt{1265/21,7} = 7,6 \text{ cm}$$

- **La longueur de flambement :**

L : 7,540 m (c'est la longueur de poteau)

$$\frac{\ell}{L} = 0,5 \quad ; \quad \ell = 0,5 \times L \Rightarrow \ell = 0,5 \times 7,540 = 3,770 \text{ m}$$

L'élancement : $\lambda = \ell/i = 377/7,6 = 49,6$

$$\lambda = 49,6$$

- **Calcul de l'élancement réduit :**

D'après EUROCODE 3 page 168

$$\bar{\lambda} = (\lambda/\lambda_1)[B_A]^{0,5}$$

$$\lambda_1 = \pi[E/f_y]^{0,5} = 93,9 \times \varepsilon = 93,9 \times 0,92 = 86,4$$

$$\text{Donc } \bar{\lambda} = (49,6/86,4)[1]^{0,5}$$

$$\bar{\lambda} = 0,57$$

D'après L'EUROCODE 3 page 169 ; le risque de flambement d'un élément comprimé n'est pas à considérer si l'élancement réduit $\bar{\lambda} \leq 0,2$

On a $0,57 \geq 0,2$

Donc il y a le risque de flambement

$$\phi = \frac{1}{2} \{1 + 0,21 \times (0,57 - 0,2) + (0,57)^2\}$$

$$\phi = 0,7$$

$$x = \frac{1}{0,7 + ((0,7)^2 - (0,57)^2)^{0,5}} = 0,9$$

$$x = 0,9 \leq 1$$

$$N_{\text{brd}} = \frac{0,9 \cdot 1 \cdot 2170 \cdot 275}{1,1} = 488250 \text{ N} = 48825 \text{ daN}$$

Vous avons $N_{\text{sd}} < N_{\text{brd}}$ la condition de flambement est vérifiée.

Donc il n'y a pas le risque de flambement dans notre cas de poteau.

III.5 Conclusion :

Après les calculs on a déterminé les principes d'escalier :

- Un palier
- Une volée
- Les marches peuvent être encastrées entre deux limons
- Une suite de marche
- Les limons.

CHAPITRE IV

Fondations des poteaux

Etude d'ancrage des poteaux

IV.1 Introduction

Les pieds de poteaux comportent un certain nombre de dispositions constructives dont l'objet est de concrétiser les conditions de liaison prévues pour la structure avec ses supports, qu'il s'agisse directement de fondation ou d'une infrastructure en béton.

Les composants qui interviennent dans La constitution d'un pied de poteau sont généralement les suivants :

- Une platine soudée en bout de poteau.
- Des tiges d'ancrage scellées dans le béton.
- Des raidisseurs de platine.
- Une bêche si elle est nécessaire.

❖ Le logiciel ROBOT Millénium

Le système Robot Millénium est un logiciel CAO/DAO destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types des structures. Robot permet de créer les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape gérée par Robot est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

Pour le dimensionnement des ancrages de nos poteaux, nous allons utiliser le logiciel ROBOT Millénium.

Tableau IV.1 : Tableau des charges

Cas	Préfixe	Nom du cas	Nature	Type d'analyse
1	exploitation	Q	Catégorie A	Statique linéaire
2	vent	Vn	vent	Statique linéaire
3	PERM2	G	Structurelle	Statique linéaire
4	MOD10	Modale		Modale
5	SIS_X11	Ex Dir. - masses_X	sismique	Sismique-RPA 99 (2003)
6	SIS_Y13	Ey Dir. - masses_Y	sismique	Sismique-RPA 99 (2003)



Tableau IV.2 : Tableau de Combinaisons des charges

combinaison	Nom	Type d'analyse	Définition
7 (C)	G + Q	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}((1;3)*1.00)$
8 (C)	G + Vn	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}((3;2)*1.00)$
9 (C) (CQC)	G + 1.2 Ex	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}(3*1.00;5*1.20)$
10 (C) (CQC)	G + 1.2 Ey	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}(3*1.00;6*1.20)$
11 (C)	1.35 G + 1.5 Q + 0.9 Vn	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}(3*1.35;2*1.50;1*0.90)$
12 (C)	1.35 G + 1.5Vn + 0.9 Q	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}(3*1.35;1*1.50;2*0.90)$
13 (C) (CQC)	G + Q + 1.2 Ex	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}((3;1)*1.00;5*1.20)$
14 (C) (CQC)	G + Q + 1.2 Ey	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}((3;1)*1.00;6*1.20)$
15 (C)	1.35 G + 1.5 Q	Combinaison quadratique	$\text{SQRT}(3*1.35;1*1.50)$

- **Modélisation des pieds de poteaux :**

Nos poteaux seront considérés « Encastres » en pied. Pour la suite des calculs.

IV.2 Calcul du Pied de Poteau encastré :

	<p>Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014</p> <p>Calcul du Pied de Poteau encastré</p> <p>Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings on concrete</p>	
		<p>Ratio 0,50</p>

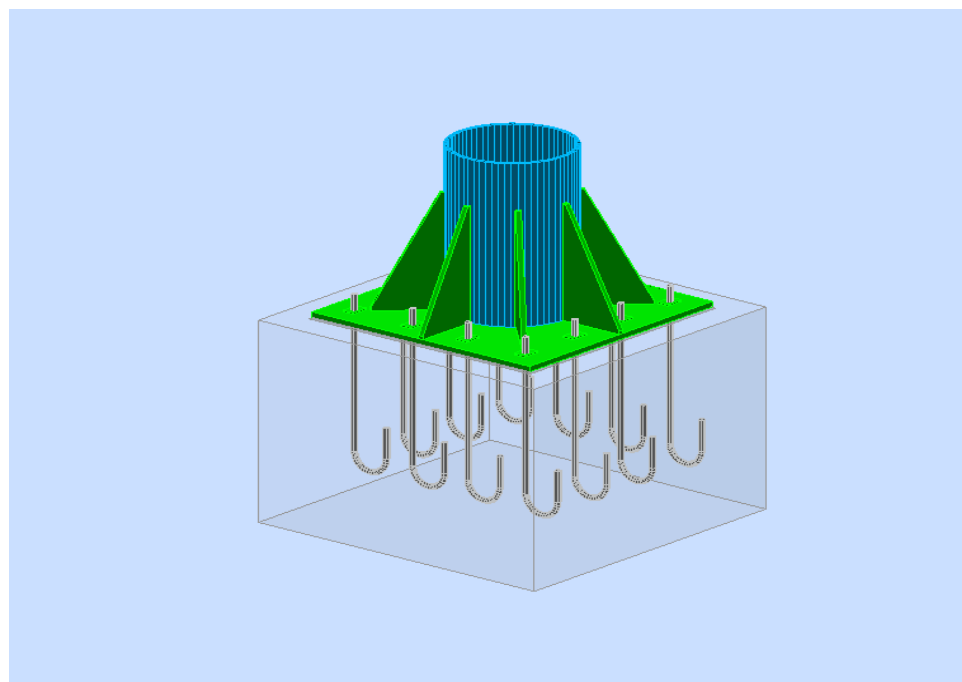
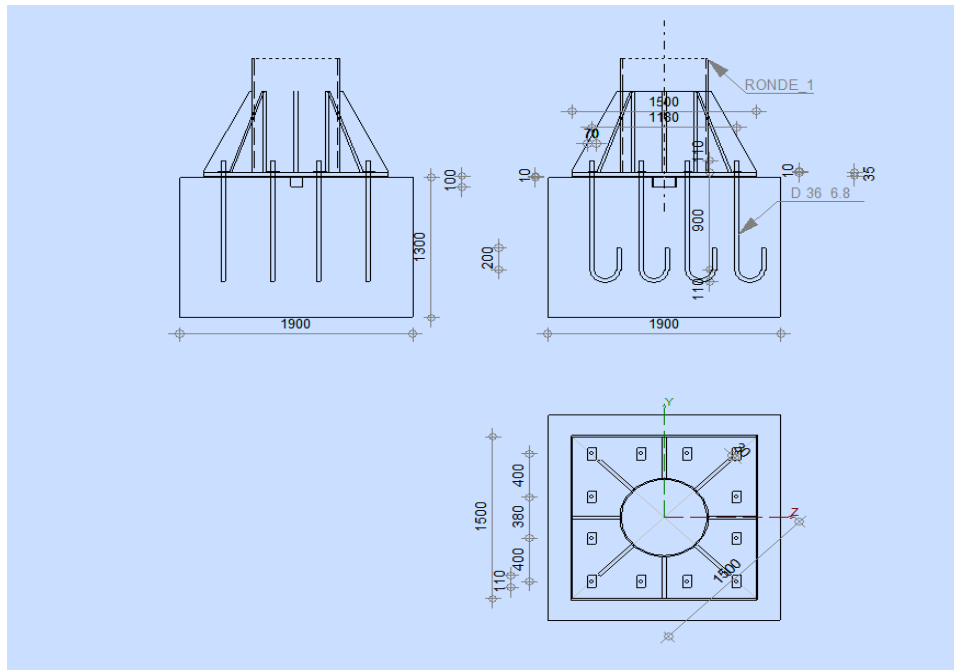


Fig IV.1 : Dimension des tiges d'ancrages

IV.3 Général

Assemblage N°: 3
 Nom de l'assemblage : Pied de poteau
 Noeud de la structure: 14
 Barres de la structure: 7

IV.4 Géométrie

IV.4-1 POTEAU

Profilé: RONDE_1
 Barre N°: 7

$L_c = 7,50$ [m] Longueur du poteau
 $\alpha = 0,0$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_c = 720$ [mm] Hauteur de la section du poteau
 $b_{fc} = 720$ [mm] Largeur de la section du poteau
 $t_{wc} = 20$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau
 $t_{fc} = 20$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau
 $r_c = 0$ [mm] Rayon de congé de la section du poteau
 $A_c = 439,823$ [cm²] Aire de la section du poteau
 $I_{yc} = 269611,482$ [cm⁴] Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: S 275

$f_{yc} = 27,5000$ [daN/mm²] Résistance
 $f_{uc} = 40,5000$ [daN/mm²] Résistance ultime du matériau

IV.4-2 PLATINE DE PRESCELLEMENT

$l_{pd} = 1500$ [mm] Longueur
 $b_{pd} = 1500$ [mm] Largeur
 $t_{pd} = 35$ [mm] Epaisseur

Matériau: S 275

$f_{ypd} = 27,5000$ [daN/mm²] Résistance
 $f_{upd} = 43,0000$ [daN/mm²] Résistance ultime du matériau

IV.4-3 ANCRAGE

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon

Classe =	6.8	Classe de tiges d'ancrage
f_{yb} =	41,0000 [daN/mm ²]	Limite de plasticité du matériau du boulon
f_{ub} =	60,0000 [daN/mm ²]	Résistance du matériau du boulon à la traction
d =	36 [mm]	Diamètre du boulon
A_s =	8,170 [cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
A_v =	10,179 [cm ²]	Aire de la section du boulon
n_H =	4	Nombre de colonnes des boulons
n_V =	4	Nombre de rangées des boulons
Ecartement e_{Hi} =	380; 400 [mm]	
Entraxe e_{Vi} =	380; 400 [mm]	

Dimensions des tiges d'ancrage

L_1 =	110 [mm]
L_2 =	900 [mm]
L_3 =	220 [mm]
L_4 =	200 [mm]

Platine

l_{wd} =	70 [mm]	Longueur
b_{wd} =	110 [mm]	Largeur
t_{wd} =	10 [mm]	Epaisseur

IV.4-4 BECHE

Profilé: IPE 200

l_w = 100 [mm] Longueur

Matériau: S 275

f_{yw} = 27,5000 [daN/mm²] Résistance

IV.4-5 RAIDISSEUR

$l_s =$	1500	[mm]	Longueur
$h_s =$	750	[mm]	Hauteur
$t_s =$	30	[mm]	Epaisseur
$d_1 =$	20	[mm]	Grugeage
$d_2 =$	20	[mm]	Grugeage

IV.4-6 COEFFICIENTS DE MATERIAU

$\gamma_{M0} =$	1,00	Coefficient de sécurité partiel
$\gamma_{M2} =$	1,25	Coefficient de sécurité partiel
$\gamma_C =$	1,50	Coefficient de sécurité partiel

IV.4-7 SEMELLE ISOLEE

$L =$	1900	[mm]	Longueur de la semelle
$B =$	1900	[mm]	Largeur de la semelle
$H =$	1300	[mm]	Hauteur de la semelle

Béton

Classe	C20/25
$f_{ck} =$	2,0000 [daN/mm ²] Résistance caractéristique à la compression

Mortier de calage

$t_g =$	10	[mm]	Epaisseur du mortier de calage
$f_{ck,g} =$	1,2000 [daN/mm ²]	Résistance caractéristique à la compression	
$C_{f,d} =$	0,30	Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton	

IV.4-8 SOUDURES

$a_p =$	8	[mm]	Plaque principale du pied de poteau
$a_w =$	4	[mm]	Bêche
$a_s =$	4	[mm]	Raidisseurs

IV.5 Efforts

Cas: 8: $G + V_n \text{ SQRT}(3;2) * 1.00$

$$N_{j,Ed} = -37386,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Effort axial}$$

$$V_{j,Ed,y} = -743,04 \quad [\text{daN}] \quad \text{Effort tranchant}$$

$$V_{j,Ed,z} = 6465,36 \quad [\text{daN}] \quad \text{Effort tranchant}$$

$$M_{j,Ed,y} = -24235,31 \quad [\text{daN}\cdot\text{m}] \quad \text{Moment fléchissant}$$

$$M_{j,Ed,z} = 2776,89 \quad [\text{daN}\cdot\text{m}] \quad \text{Moment fléchissant}$$

IV.6 Résultats

IV.6-1 ZONE COMPRIMÉE

COMPRESSION DU BETON

$$f_{cd} = 1,3333 \quad [\text{daN}/\text{mm}^2] \quad \text{Résistance de calcul à la compression} \quad \text{EN 1992-1:[3.1.6.(1)]}$$

$$f_j = 1,1259 \quad [\text{daN}/\text{mm}^2] \quad \text{Résistance de calcul du matériau du joint sous la plaque d'assise} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$c = t_p \sqrt{(f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{M0}))}$$

$$c = 100 \quad [\text{mm}] \quad \text{Largeur de l'appui additionnelle} \quad [6.2.5.(4)]$$

$$b_{eff} = 220 \quad [\text{mm}] \quad \text{Largeur efficace de la semelle de tronçon T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$l_{eff} = 920 \quad [\text{mm}] \quad \text{Longueur efficace de la semelle de tronçon en T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$A_{c0} = 2020,952 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Zone de contact de la plaque d'assise avec la fondation} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$A_{c1} = 12524,755 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de calcul maximale de la répartition de la charge} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$F_{rd} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3 * A_{c0} * f_{cd}$$

$$A_{c1} = 12524,755 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de calcul maximale de la répartition de la charge} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$\beta_j = 0,67 \quad \text{Coefficient réducteur pour la compression} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$f_{jd} = \beta_j * F_{rd} / (b_{eff} * l_{eff})$$

$$f_{jd} = 2,2129 \quad [\text{daN}/\text{mm}^2] \quad \text{Résistance de calcul du matériau du joint} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$A_{c,n} = 11082,125 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de compression efficace} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

$$A_{c,y} = 4874,531 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de flexion } M_y \quad [6.2.8.3.(1)]$$

$$A_{c,z} = 4874,531 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de flexion } M_z \quad [6.2.8.3.(1)]$$

$A_{c,n} = 11082,125$ [cm²] Aire de compression efficace [6.2.8.2.(1)]

$$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} \cdot f_{jd}$$

$F_{c,Rd,n} = 2452320,27$ [daN] Résistance du béton à la compression [6.2.8.2.(1)]

$F_{c,Rd,y} = 1078665,96$ [daN] Résistance du béton à la flexion My [6.2.8.3.(1)]

$F_{c,Rd,z} = 1078665,96$ [daN] Résistance du béton à la flexion Mz [6.2.8.3.(1)]

AILE ET AME DU POTEAU EN COMPRESSION

CL = 1,00 Classe de la section EN 1993-1-1:[5.5.2]

$W_{pl,y} = 52719,280$ [cm³] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{c,Rd,y} = 1449780,19$ [daN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_{f,y} = 734$ [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

$$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$$

$F_{c,fc,Rd,y} = 1975127,40$ [daN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

$W_{pl,z} = 52719,280$ [cm³] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{c,Rd,z} = 1449780,19$ [daN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_{f,z} = 734$ [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

$$F_{c,fc,Rd,z} = M_{c,Rd,z} / h_{f,z}$$

$F_{c,fc,Rd,z} = 1975127,40$ [daN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

RESISTANCE DE LA SEMELLE DANS LA ZONE COMPRIMEE

$$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$$

$N_{j,Rd} = 2452320,27$ [daN] Résistance de la semelle à l'effort axial [6.2.8.2.(1)]

$$F_{c,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$$

$F_{c,Rd,y} = 1078665,96$ [daN] Résistance de la semelle dans la zone comprimée [6.2.8.3]

$$F_{c,Rd,z} = \min(F_{c,Rd,z}, F_{c,fc,Rd,z})$$

$F_{c,Rd,z} = 1078665,96$ [daN] Résistance de la semelle dans la zone comprimée [6.2.8.3]

IV.6-2 ZONE TENDUE

RUPTURE DU BOULON D'ANCRAGE

$A_b = 8,170$ [cm²] Aire de section efficace du boulon [Tableau 3.4]

$f_{ub} = 60,0000$ [daN/mm²] Résistance du matériau du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$\beta = 0,85$ Coefficient de réduction de la résistance du boulon [3.6.1.(3)]

$$F_{t,Rd,s1} = \beta \cdot 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_b / \gamma_{M2}$$

$F_{t,Rd,s1} = 30000,24$ [daN] Résistance du boulon à la rupture [Tableau 3.4]

$\gamma_{Ms} = 1,20$ Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.2]

$f_{yb} = 41,0000$ [daN/mm²] Limite de plasticité du matériau du boulon CEB [9.2.2]

$$F_{t,Rd,s2} = f_{yb} \cdot A_b / \gamma_{Ms}$$

$F_{t,Rd,s2} = 27914,17$ [daN] Résistance du boulon à la rupture CEB [9.2.2]

$$F_{t,Rd,s} = \min(F_{t,Rd,s1}, F_{t,Rd,s2})$$

$F_{t,Rd,s} = 27914,17$ [daN] Résistance du boulon à la rupture

ARRACHEMENT DU BOULON D'ANCRAGE DU BETON

$f_{ck} = 2,0000$ [daN/mm²] Résistance caractéristique du béton à la compression EN 1992-1:[3.1.2]

$$f_{ctd} = 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_C$$

$f_{ctd} = 0,1032$ [daN/mm²] Résistance de calcul à la traction EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

$\eta_1 = 1,00$ Coef. dépendant des conditions du bétonnage et de l'adhérence EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

$\eta_2 = 0,96$ Coef. dépendant du diamètre du boulon d'ancrage EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

$f_{bd} = 0,2228$ [daN/mm²] Adhérence de calcul admissible EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

$h_{ef} = 900$ [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

$$F_{t,Rd,p} = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot f_{bd}$$

$F_{t,Rd,p} = 22679,32$ [daN] Résistance de calc. pour le soulèvement EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

ARRACHEMENT DU CONE DE BETON

$h_{ef} = 240$ [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage CEB [9.2.4]

$$N_{Rk,c}^0 = 7.5 [N^{0.5}/mm^{0.5}] \cdot f_{ck} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

$N_{Rk,c}^0 = 12470,77$ [daN] Résistance caractéristique du boulon d'ancrage CEB [9.2.4]

$s_{cr,N} = 720$ [mm] Largeur critique du cône de béton CEB [9.2.4]

$c_{cr,N} = 360$ [mm] Distance critique du bord de la fondation CEB [9.2.4]

$$N_{Rk,c}^0 = 7.5[N^{0.5}/mm^{0.5}] * f_{ck} * h_{ef}^{1.5}$$

$N_{Rk,c}^0 = 12470,77$ [daN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.2.4]
$A_{c,N0} = 36100,000$ [cm ²]	Aire de surface maximale du cône	CEB [9.2.4]
$A_{c,N} = 36100,000$ [cm ²]	Aire de surface réelle du cône	CEB [9.2.4]
$\Psi_{A,N} = A_{c,N}/A_{c,N0}$		
$\Psi_{A,N} = 1,00$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.2.4]
$c = 360$ [mm]	Pince minimale boulon d'ancrage-extrémité	CEB [9.2.4]
$\Psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 * c / c_{cr,N} \leq 1.0$		
$\Psi_{s,N} = 1,00$	Coef. dépendant du pince boulon d'ancrage-extrémité de la fondation	CEB [9.2.4]
$\Psi_{ec,N} = 1,00$	Coef. dépendant de la répartition des efforts de traction dans les boulons d'ancrage	CEB [9.2.4]
$\Psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef}[mm]/200 \leq 1.0$		
$\Psi_{re,N} = 1,00$	Coef. dépendant de la densité du ferrailage dans la fondation	CEB [9.2.4]
$\Psi_{ucr,N} = 1,00$	Coef. dépendant du degré de fissuration du béton	CEB [9.2.4]
$\gamma_{Mc} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{t,Rd,c} = N_{Rk,c}^0 * \Psi_{A,N} * \Psi_{s,N} * \Psi_{ec,N} * \Psi_{re,N} * \Psi_{ucr,N} / \gamma_{Mc}$		
$F_{t,Rd,c} = 5773,5$ [daN]	Résistance de calcul du boulon d'ancrage à l'arrachement du cône de béton	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

FENDAGE DU BETON

$h_{ef} = 900$ [mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	CEB [9.2.5]
$N_{Rk,c}^0 = 7.5[N^{0.5}/mm^{0.5}] * f_{ck} * h_{ef}^{1.5}$		
$N_{Rk,c}^0 = 90560,75$ [daN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	CEB [9.2.5]
$s_{cr,N} = 1800$ [mm]	Largeur critique du cône de béton	CEB [9.2.5]
$c_{cr,N} = 900$ [mm]	Distance critique du bord de la fondation	CEB [9.2.5]
$A_{c,N0} = 88804,000$ [cm ²]	Aire de surface maximale du cône	CEB [9.2.5]
$A_{c,N} = 36100,000$ [cm ²]	Aire de surface réelle du cône	CEB [9.2.5]
$\Psi_{A,N} = A_{c,N}/A_{c,N0}$		
$\Psi_{A,N} = 0,41$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.2.5]
$c = 360$ [mm]	Pince minimale boulon d'ancrage-extrémité	CEB [9.2.5]
$\Psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 * c / c_{cr,N} \leq 1.0$		
$\Psi_{s,N} = 0,82$	Coef. dépendant du pince boulon d'ancrage-extrémité de la fondation	CEB [9.2.5]
$\Psi_{ec,N} = 1,00$	Coef. dépendant de la répartition des efforts de traction dans les boulons d'ancrage	CEB [9.2.5]
$\Psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef}[mm]/200 \leq 1.0$		

$\Psi_{re,N} = 1,00$	Coef. dépendant de la densité du ferrailage dans la fondation	CEB [9.2.5]
$\Psi_{ucr,N} = 1,00$	Coef. dépendant du degré de fissuration du béton	CEB [9.2.5]
$\Psi_{h,N} = (h/(2 \cdot h_{ef}))^{2/3} \leq 1.2$		
$\Psi_{h,N} = 0,80$	Coef. dépendant de la hauteur de la fondation	CEB [9.2.5]
$\gamma_{M,sp} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{t,Rd,sp} = N_{Rk,c} \cdot \Psi_{A,N} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ucr,N} \cdot \Psi_{h,N} / \gamma_{M,sp}$		
$F_{t,Rd,sp} = 11250,07$ [daN]	Résistance de calcul du boulon d'ancrage au fendage du béton	CEB [9.2.5]

RESISTANCE DU BOULON D'ANCRAGE A LA TRACTION

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,s}, F_{t,Rd,p}, F_{t,Rd,c}, F_{t,Rd,sp})$$

$$F_{t,Rd} = 5773,50 \text{ [daN]} \text{ Résistance du boulon d'ancrage à traction}$$

FLEXION DE LA PLAQUE DE BASE

Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$

$l_{eff,1} = 632$ [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} = 632$ [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m = 171$ [mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} = 5321,77$ [daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} = 5321,77$ [daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} = 124522,88$ [daN]	Résistance de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]
$F_{T,2,Rd} = 43325,63$ [daN]	Résistance de la dalle pour le mode 2	[6.2.4]
$F_{T,3,Rd} = 23094,01$ [daN]	Résistance de la dalle pour le mode 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd,y} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$		
$F_{t,pl,Rd,y} = 23094,01$ [daN]	Résistance de la dalle pour le mode à la traction	[6.2.4]

Moment fléchissant $M_{j,Ed,z}$

$l_{eff,1} = 632$ [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} = 632$ [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m = 171$ [mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} = 5321,77$ [daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} = 5321,77$ [daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} = 124522,88$ [daN]	Résistance de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]

Moment fléchissant $M_{j,Ed,z}$

$$l_{eff,1} = 632 \text{ [mm]} \text{ Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1} \quad [6.2.6.5]$$

$$F_{T,2,Rd} = 43325,63 \text{ [daN]} \text{ Résistance de la dalle pour le mode 2} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,3,Rd} = 23094,01 \text{ [daN]} \text{ Résistance de la dalle pour le mode 3} \quad [6.2.4]$$

$$F_{t,pl,Rd,z} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{t,pl,Rd,z} = 23094,01 \text{ [daN]} \text{ Résistance de la dalle pour le mode à la traction} \quad [6.2.4]$$

RESISTANCES DE SEMELLE DANS LA ZONE TENDUE

$$F_{T,Rd,y} = F_{t,pl,Rd,y}$$

$$F_{T,Rd,y} = 23094,01 \text{ [daN]} \text{ Résistance de la semelle dans la zone tendue} \quad [6.2.8.3]$$

$$F_{T,Rd,z} = F_{t,pl,Rd,z}$$

$$F_{T,Rd,z} = 23094,01 \text{ [daN]} \text{ Résistance de la semelle dans la zone tendue} \quad [6.2.8.3]$$

IV.6-3 CONTROLE DE LA RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \text{ (6.24)} \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

$$e_y = 648 \text{ [mm]} \text{ Excentricité de l'effort axial} \quad [6.2.8.3]$$

$$z_{c,y} = 367 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier } F_{C,Rd,y} \quad [6.2.8.1.(2)]$$

$$z_{t,y} = 590 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier } F_{T,Rd,y} \quad [6.2.8.1.(3)]$$

$$M_{j,Rd,y} = 50942,92 \text{ [daN*m]} \text{ Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2.8.3]$$

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0 \text{ (6.23)} \quad 0,48 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,48)$$

$$e_z = 74 \text{ [mm]} \text{ Excentricité de l'effort axial} \quad [6.2.8.3]$$

$$z_{c,z} = 367 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier } F_{C,Rd,z} \quad [6.2.8.1.(2)]$$

$$z_{t,z} = 590 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier } F_{T,Rd,z} \quad [6.2.8.1.(3)]$$

$$M_{j,Rd,z} = 133267,50 \text{ [daN*m]} \text{ Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2.8.3]$$

$$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0 \text{ (6.23)} \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,50 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,50)$$

IV.6-4 CISAILLEMENT

PRESSION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 1,40$ Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$\alpha_{b,y} = 1,00$ Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$ [Tableau 3.4]

$k_{1,y} = 2,50$ Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \cdot \alpha_{b,y} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$F_{1,vb,Rd,y} = 108360,00$ [daN] Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise [6.2.2.(7)]

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 1,40$ Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$\alpha_{b,z} = 1,00$ Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$ [Tableau 3.4]

$k_{1,z} = 2,50$ Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$F_{1,vb,Rd,z} = 108360,00$ [daN] Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise [6.2.2.(7)]

CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE

$\alpha_b = 0,32$ Coef. pour les calculs de la résistance $F_{2,vb,Rd}$ [6.2.2.(7)]

$A_{vb} = 10,179$ [cm²] Aire de la section du boulon [6.2.2.(7)]

$f_{ub} = 60,0000$ [daN/mm²] Résistance du matériau du boulon à la traction [6.2.2.(7)]

$\gamma_{M2} = 1,25$ Coefficient de sécurité partiel [6.2.2.(7)]

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$F_{2,vb,Rd} = 15488,00$ [daN] Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier [6.2.2.(7)]

$\alpha_M = 2,00$ Coef. dépendant de l'ancrage du boulon dans la fondation CEB [9.3.2.2]

$M_{Rk,s} = 281,70$ [daN*m] Résistance caractéristique de l'ancrage à la flexion CEB [9.3.2.2]

$l_{sm} = 46$ [mm] Longueur du bras de levier CEB [9.3.2.2]

$\gamma_{Ms} = 1,20$ Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.2]

$$F_{v,Rd,sm} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / (l_{sm} \cdot \gamma_{Ms})$$

$F_{v,Rd,sm} = 10318,58$ [daN] Résistance du boulon au cisaillement - avec bras de levier CEB [9.3.1]

RUPTURE DU BETON PAR EFFET DE LEVIER

$N_{Rk,c} = 12470,77$ [daN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	CEB [9.2.4]
$k_3 = 2,00$	Coef. dépendant de la longueur de l'ancrage	CEB [9.3.3]
$\gamma_{Mc} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,cp} = k_3 * N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		
$F_{v,Rd,cp} = 11547,01$ [daN]	Résistance du béton à l'effet de levier	CEB [9.3.1]

ECRASEMENT DU BORD DU BETON**Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$**

$V_{Rk,c,y} = 68034,6$ [daN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(a)]
$\psi_{A,V,y} = 0,67$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.3.4]
$\psi_{h,V,y} = 1,00$	Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation	CEB [9.3.4.(c)]
$\psi_{s,V,y} = 0,90$	Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement	CEB [9.3.4.(d)]
$\psi_{ec,V,y} = 1,00$	Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(e)]
$\psi_{\alpha,V,y} = 1,00$	Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	CEB [9.3.4.(f)]
$\psi_{ucr,V,y} = 1,00$	Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB [9.3.4.(g)]
$\gamma_{Mc} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y} * \psi_{A,V,y} * \psi_{h,V,y} * \psi_{s,V,y} * \psi_{ec,V,y} * \psi_{\alpha,V,y} * \psi_{ucr,V,y} / \gamma_{Mc}$		
$F_{v,Rd,c,y} = 18898,50$ [daN]	Résistance du béton pour l'écrasement du bord	CEB [9.3.1]

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$V_{Rk,c,z} = 68034,6$ [daN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(a)]
$\psi_{A,V,z} = 0,67$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.3.4]
$\psi_{h,V,z} = 1,00$	Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation	CEB [9.3.4.(c)]
$\psi_{s,V,z} = 0,90$	Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement	CEB [9.3.4.(d)]
$\psi_{ec,V,z} = 1,00$	Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(e)]

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$V_{Rk,c,z} = 68034,6$ [daN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(a)]
$\psi_{\alpha,V,z} = 1,00$	Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	CEB [9.3.4.(f)]
$\psi_{ucr,V,z} = 1,00$	Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB [9.3.4.(g)]
$\gamma_{Mc} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z} \cdot \psi_{A,V,z} \cdot \psi_{h,V,z} \cdot \psi_{s,V,z} \cdot \psi_{ec,V,z} \cdot \psi_{\alpha,V,z} \cdot \psi_{ucr,V,z} / \gamma_{Mc}$		
$F_{v,Rd,c,z} = 18898,50$ [daN]	Résistance du béton pour l'écrasement du bord	CEB [9.3.1]

GLISSEMENT DE LA SEMELLE

$C_{f,d} = 0,30$	Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed} = 37386,00$ [daN]	Effort de compression	[6.2.2.(6)]
$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$		
$F_{f,Rd} = 11215,80$ [daN]	Résistance au glissement	[6.2.2.(6)]

CONTACT DE LA CALE D'ARRET AVEC BETON

$F_{v,Rd,wg,y} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wy} \cdot f_{ck} / \gamma_c$		
$F_{v,Rd,wg,y} = 37333,33$ [daN]	Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton	
$F_{v,Rd,wg,z} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wz} \cdot f_{ck} / \gamma_c$		
$F_{v,Rd,wg,z} = 18666,67$ [daN]	Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton	

CONTROLE DU CISAILLEMENT

$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$		
$V_{j,Rd,y} = 172372,07$ [daN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$	$0,00 < 1,00$	vérifié (0,00)
$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$		
$V_{j,Rd,z} = 153705,41$ [daN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0,04 < 1,00$	vérifié (0,04)

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,05 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,05)$$

IV.6-5 CONTROLE DES RAIDISSEURS

Raidisseurs radiaux

$M_1 =$	3076,44 [daN*m]	Moment fléchissant du raidisseur	
$Q_1 =$	12560,32 [daN]	Effort tranchant du raidisseur	
$z_s =$	222 [mm]	Position de l'axe neutre (à partir de la base de la plaque)	
$I_s =$	$\frac{271658,74}{4}$ [cm ⁴]	Moment d'inertie du raidisseur	
$\sigma_d =$	0,2118 $\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$	Contrainte normale au contact du raidisseur et de la dalle	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\sigma_g =$	0,6375 $\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$	Contrainte normale dans les fibres supérieures	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\tau =$	0,5582 $\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$	Contrainte tangentielle dans le raidisseur	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\sigma_z =$	0,9898 $\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$	Contrainte équivalente au contact du raidisseur et de la dalle	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp}/\gamma_{M0}) \leq 1.0$ (6.1)		$0,04 < 1,00$	vérifié (0,04)

IV.6-6 SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE

$\sigma_{\perp} =$	0,1961 [daN/mm ²]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	0,1961 [daN/mm ²]	Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{y } =$	-0,0107 [daN/mm ²]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{z } =$	0,0929 [daN/mm ²]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_w =$	0,85	Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)		$0,01 < 1,00$	vérifié (0,01)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{y }^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		$0,01 < 1,00$	vérifié (0,01)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{z }^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		$0,01 < 1,00$	vérifié (0,01)

IV.6-7 SOUDURES VERTICALES DES RAIDISSEURS

Raidisseurs radiaux

$\sigma_{\perp} =$	2,9005 [daN/mm ²]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	2,9005 [daN/mm ²]	Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\parallel} =$	2,0934 [daN/mm ²]	Contrainte tangentielle parallèle	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	6,8409 [daN/mm ²]	Contrainte totale équivalente	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,85	Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{\parallel} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)			0,18 < 1,00 vérifié (0,18)

IV.6-8 SOUDURES HORIZONTALES DES RAIDISSEURS

Raidisseurs radiaux

$\sigma_{\perp} =$	2,8466 [daN/mm ²]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	2,8466 [daN/mm ²]	Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\parallel} =$	2,4333 [daN/mm ²]	Contrainte tangentielle parallèle	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	7,0835 [daN/mm ²]	Contrainte totale équivalente	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,85	Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{\parallel} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)			0,18 < 1,00 vérifié (0,18)

IV.6-9 RIGIDITE DE L'ASSEMBLAGE

Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$

$b_{eff} =$	220 [mm]	Largeur efficace de la semelle de tronçon T	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} =$	920 [mm]	Longueur efficace de la semelle de tronçon en T	[6.2.5.(3)]
$k_{13,y} = E_c * \sqrt{(b_{eff} * l_{eff})} / (1.275 * E)$			
$k_{13,y} =$	50 [mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$l_{eff} =$	632 [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m =$	171 [mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$k_{15,y} = 0.850 * l_{eff} * t_p^3 / (m^3)$			

$k_{15,y} = 5$ [mm] Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction [Tableau 6.11]

$L_b = 361$ [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage [Tableau 6.11]

$$k_{16,y} = 1.6 \cdot A_b / L_b$$

$k_{16,y} = 4$ [mm] Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction [Tableau 6.11]

$\lambda_{0,y} = 0,35$ Elancement du poteau [5.2.2.5.(2)]

$S_{j,ini,y} = 76367933,11$ [daN*m] Rigidité en rotation initiale [Tableau 6.12]

$S_{j,rig,y} = 226473644,49$ [daN*m] Rigidité de l'assemblage rigide [5.2.2.5]

$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$ SEMI-RIGIDE [5.2.2.5.(2)]

Moment fléchissant $M_{j,E_d,z}$

$$k_{13,z} = E_c \cdot \sqrt{A_{c,z}} / (1.275 \cdot E)$$

$k_{13,z} = 78$ [mm] Coef. de rigidité du béton comprimé [Tableau 6.11]

$l_{eff} = 632$ [mm] Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2 [6.2.6.5]

$m = 171$ [mm] Pince boulon-bord de renforcement [6.2.6.5]

$$k_{15,z} = 0.850 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / (m^3)$$

$k_{15,z} = 5$ [mm] Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction [Tableau 6.11]

$L_b = 361$ [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage [Tableau 6.11]

$$k_{16,z} = 1.6 \cdot A_b / L_b$$

$k_{16,z} = 4$ [mm] Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction [Tableau 6.11]

$\lambda_{0,z} = 0,35$ Elancement du poteau [5.2.2.5.(2)]

$S_{j,ini,z} = 442549230,42$ [daN*m] Rigidité en rotation initiale [6.3.1.(4)]

$S_{j,rig,z} = 226473644,49$ [daN*m] Rigidité de l'assemblage rigide [5.2.2.5]

$S_{j,ini,z} \geq S_{j,rig,z}$ RIGIDE [5.2.2.5.(2)]

IV.6-10 COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

FONDATION A L'ARRACHEMENT DU CONE DE BETON

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme	Ratio	0,50
--	-------	------

IV.7 Conclusion :

Les éléments retenus pour ce chapitre assurent le cheminement des efforts vers la fondation. L'ancrage des poteaux est assuré par des platines boulonnée de dimensions (1500×1500×35) mm

La platine est maintenue par 12 boulons, de diamètre $\varnothing = 36$ mm Classe 6.8.

CHAPITRE V

Montage de la Sphère

Chronologie de montage de la sphère

V.1 Introduction :

La sphère est supportée par des poteaux qui peuvent être soudés directement sur les tôles ou bien sur une plaque intercalaire, appelé (doublant), soudée elle-même sur le réservoir

Les réservoirs de forme sphérique sont composés d'éléments emboutis, présentant la forme de fuseaux disposés en « tranches d'orange ».

L'emboutissage de ces éléments (segments, tôles) demande un gros outillage. Seules les entreprises spécialisées peuvent effectuer correctement ce genre de travail

Quelle que soit la disposition adoptée, il est recommandé de placer les tôles suivant le principe du nœud à trois tôles (Fig V.1)

Les segments sont épinglés à l'aide de clames et cales comme montré sur (Fig V.5 ; Fig V.7). Afin d'éviter les déformations et défauts d'assemblage, il est recommandé d'exécuter le pointage alternativement.

Il y a lieu d'observer la nécessité de placer un système de vérins Out un pilier central fixé sur une fondation appropriée pour maintenir au diamètre, les éléments pendant l'opération de pointage et de soudage (Fig V.6)

Pour l'exécution des travaux de montage, il faut faire l'acquisition du matériel nécessaire pour le montage

V.2 Description des différents éléments de la sphère :

La sphère se compose de trois parties :

- ✓ Une partie centrale (intermédiaire) qui est la zone équatoriale
- ✓ Une partie inférieure qui est la calotte inférieure
- ✓ Une partie supérieure qui est la calotte supérieure

V.2-1 Equipement de montage :

L'équipement de montage est classifié de la manière suivante :

- ✓ Mécanisation lourde.
- ✓ Equipement spécial.
- ✓ Equipement habituel.
- ✓ Appareil de montage spécial pour le contrôle.

V.2-2 Mécanisation lourde :

1. Autogrupe télescopique de 100t.
2. Auto remorque.
3. Véhicule tracteur pour l'auto remorque.

V.2-3 Equipement spécial :

- 1 poteau central de montage.
- Les crochets pour transporter la charge.
- Soutiens pour fixer les segments et les échafaudages.
- Outil de pré montage des segments.
- Confection des outillages pour le support de la charge.

V.2-4 Equipement habituel :

- Perceuse et des forets.
- Meule.
- Câbles d'acier.
- Electricité.
- Fer a soudé.
- Appareillage à l'arc pour souder.
- Appareillage à l'autogène pour couper.

V.2-5 Appareil de montage spécial pour le contrôle :

- 1 arc en tôle avec 1 clavette de réglage
- 1outil de pré montage

V.3 Terrassement du chantier :

Le sol doit être terrassé à la pierraille de calcaire et aux dalles bétonnées, sur ce dernier doit être fixé l'outil de pré montage

V.4 Ordre du montage des segments de la sphère :

- ✓ Réalisation de la fondation et le montage du pilier central.
- ✓ Montage des tôles de la zone équatoriale destinées à être soudées sur les poteaux
- ✓ Montage des tôles intermédiaires (tôles entre poteaux) pour chaque deux tôle soudée sur leurs poteaux consécutifs
- ✓ Fixation des poteaux sur les assises : cette opération doit être faite d'une manière rigoureuse horizontalement et verticalement
- ✓ Montage de la calotte inférieure de la sphère sans le segment central
- ✓ Montage de la calotte supérieure de la sphère et de plate forme supérieure.
Enlèvement du pilier central
- ✓ Montage du segment central n Ide la calotte inférieure de la sphère
- ✓ Montage d'échelles et des ancrs des piliers

Avant de monter n'importe quel segment de la sphère, il faut le mettre sur l'outil de pré montage, afin de vérifier la géométrie du segment, puis on effectuera le préchauffage et le soudage de tous les supports nécessaires des appuis et des tôles pour assemblage les (Chicago), on commence à monter, on montra en même temps l'échafaudage tubulaire à l'extérieur et à l'intérieure de la sphère

V.5 Description de montage des zones :

V.5-1 Réalisation de la fondation et le montage du pilier central :

Une fois la préparation du chantier terminée, on montra l'outil de pré montage et on coulera la fondation en béton pour le pilier central, puis on passe au montage de ce dernier qui est constitué de trois éléments, en plus de la fixation du pilier central à sa fondation, on l'ancre aux fondations.

V.5-2 Montage de la zone équatoriale de la sphère :

- **Montage des segments qui sont soudés aux piliers (Fig V.2)**
 - ✓ Prise du segment et sa pose sur l'outil de pré montage ou l'on vérifiera sa géométrie
 - ✓ Centrage, préchauffage et soudage du pilier tubulaire en deux pièces, ainsi que le soudage de ce dernier avec le segment.
 - ✓ Centrage, préchauffage et soudage de toutes les tôles porteuses nécessaires sur le segment
 - ✓ Levage du segment de l'outil de pré-montage ou moyen d'une grue afin de le positionner sur sa semelle correspondante avec un resserrement des ancrés.
 - ✓ Fixation des segments à l'extérieure à l'aide de deux câbles d'aciers et s'assurer de leurs bons positionnements à l'intérieure à l'aide de deux soutiens liés au pilier central

- **Montage des segments intermédiaire (Fig V.3 ; Fig V.4)**
 - ✓ Prise du segment et son ajustage sur l'outil de pré montage
 - ✓ Centrage, préchauffage et soudage de toutes les tôles porteuses nécessaires sur le segment, ainsi que tôles prévues pour assemblage.
 - ✓ Levage du segment de l'outil de pré montage à l'aide d'une grue et son montage entre deux segments avec piliers déjà montés, on positionne le segment intermédiaire à l'extérieure à l'aide des assemblages et à l'intérieure par les plaques de distance aux chevilles
 - ✓ Contrôle de la géométrie des segments montés à l'aide de contrôle.
 - ✓ Préchauffage et pointage des segments sur le joint avec $L = 150 \text{ mm}$ à tous les 1000 mm .

A la fin de montage de la zone équatoriale, on passe au soudage et contrôle de tous les joints de soudure, puis on démontra tous les soutiens.

V.5-3 Montage de la calotte inférieure de la sphère sans le segment central :

Avant de commencer le montage des segments de la calotte inférieure, on démontre l'échafaudage tubulaire de la partie intérieure pour l'adapter à ce montage en le fixant au bas de la sphère

- ✓ montage des segments
- ✓ Prise des segments et son ajustage sur l'outil de pré montage
- ✓ Pose, centrage, préchauffage, et soudage de toutes les tôles porteuses sur le segment ainsi que les tôles pour assemblage.
- ✓ Levage du segment de l'outil de pré montage et son renversement de manière que sa face concave soit tournée vers le haut et sa pose à sa place correspondante
- ✓ Fixation du segment à l'extérieure par les assemblages "Chicago" et on le positionne par les tôles de distance aux chevilles à l'intérieure de la sphère et montage des deux soutiens.

V.5-4 Montage de la calotte supérieure de la sphère et de la plate-forme supérieure :

Pour pouvoir monter la calotte supérieure de la sphère, on met en place un échafaudage spécial sous forme de "parapluie" qui s'appuiera sur le pilier central par des soutiens

- ✓ De la même manière que pour le segment de la calotte inférieure, on passe par la phase de pré montage, montage, pointage, puis le soudage des segments mais cette fois-ci la partie concave des segments est retournée vers le bas
- ✓ Montage de la plate-forme supérieure : Après la vérification de la géométrie des trois derniers segments de la calotte supérieure, on monte la plate-forme supérieure sur la sphère pour faciliter ainsi le soudage des segments de l'extérieure, puis on passe au soudage des segments.

V.5-5 Enlèvement du pilier central :

On commencera le démontage de l'échafaudage "Parapluie" d'abord puis le démontage du pilier central et ceci par l'ouverture inférieure située à la place du segment centrale.

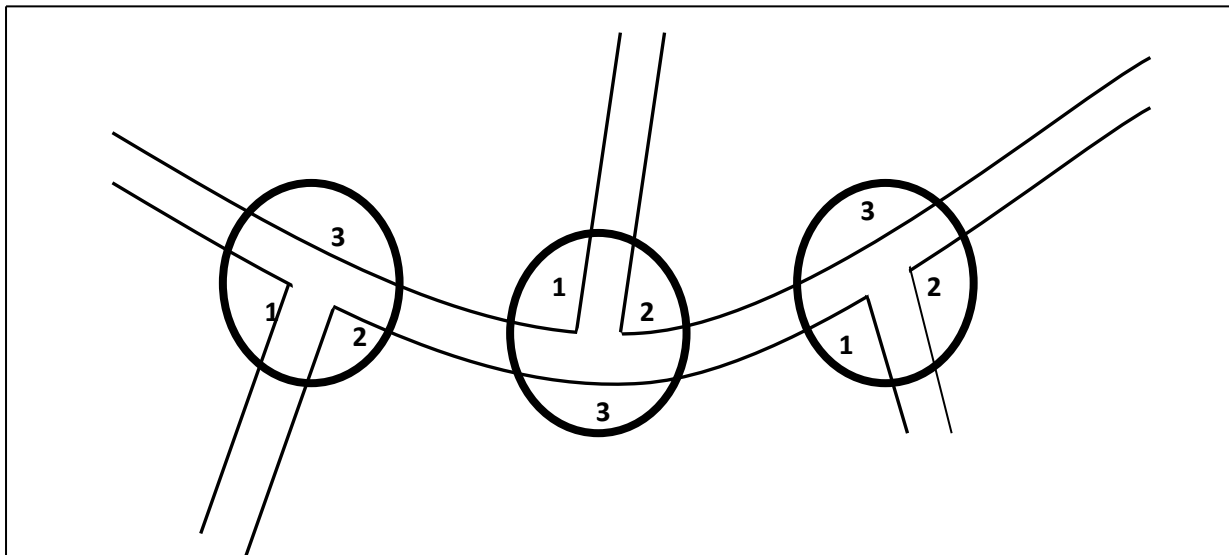
V.5-6 Montage du segment central n° 1 de la calotte inférieure :

On effectue les mêmes opérations de pré montage, pointage, et soudage que pour les segments de la calotte inférieure, mais ce qui diffère c'est qu'il faut prévoir un moyen de déplacer le segment à l'endroit le plus bas de la sphère, et c'est à l'aide d'une grue positionnée de la partie supérieure de la sphère (trou d'homme supérieur qu'on soulèvera le segment et l'ajuster à sa place prévue puis on passe au soudage de ce dernier

Pour le soudage de ce segment de l'intérieur, le soudeur sera assis sur l'un des segments voisins sans perdre de vue à prévoir un dispositif d'aération (à ventilation forcée) à l'intérieure de la sphère et un éclairage suffisant pour mener à terme l'opération de soudage dans des bonnes conditions et en toute sécurité.

Remarque :

Après avoir terminé le montage des différentes parties constitutive du réservoir et dégager tous les équipements et outils de montage, de soudage et autres, Une fois terminée, on finaliser les opérations de montage par les escaliers

**Fig V.1 : Principe du nœud à trois tôles**

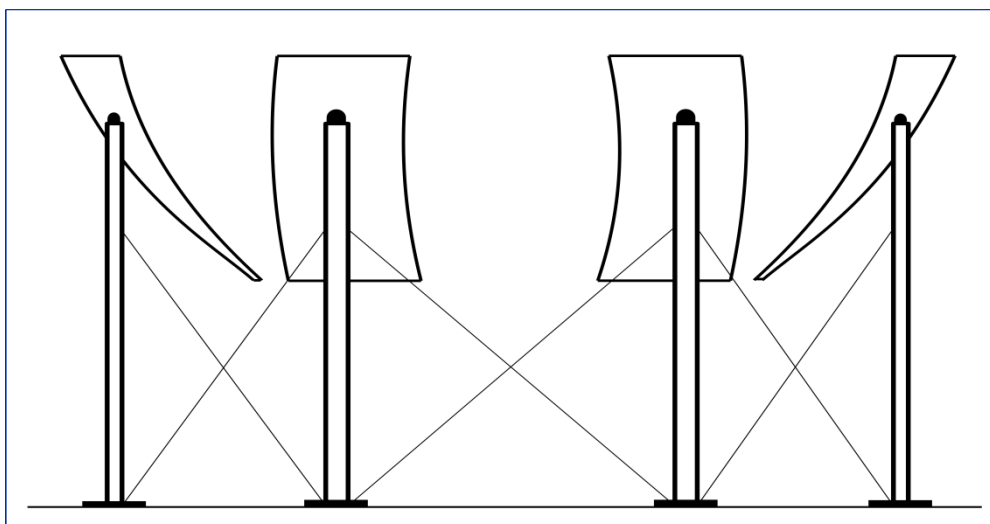


Fig V.2 : Montage des segments poteaux

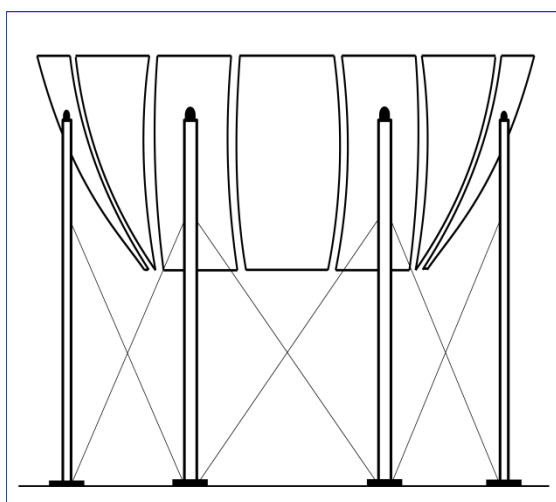


Fig V.3 : Montage de la zone équatoriale

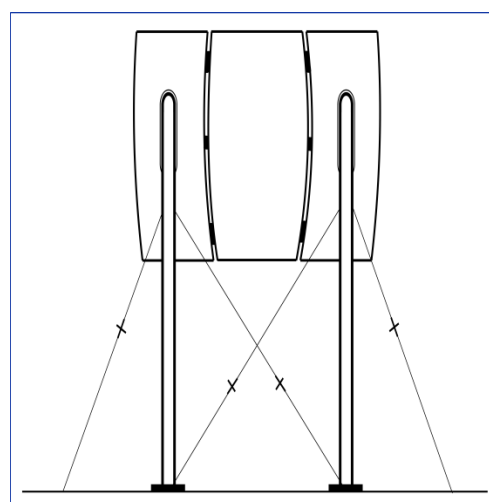


Fig V.4 : Montage des segments de la zone équatoriale

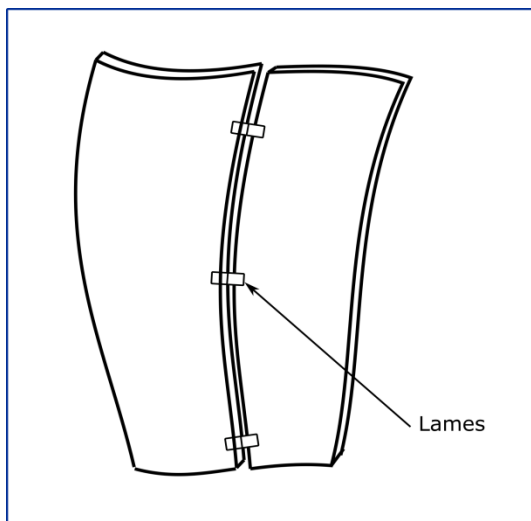


Fig V.5 : Accessoire (les lames)

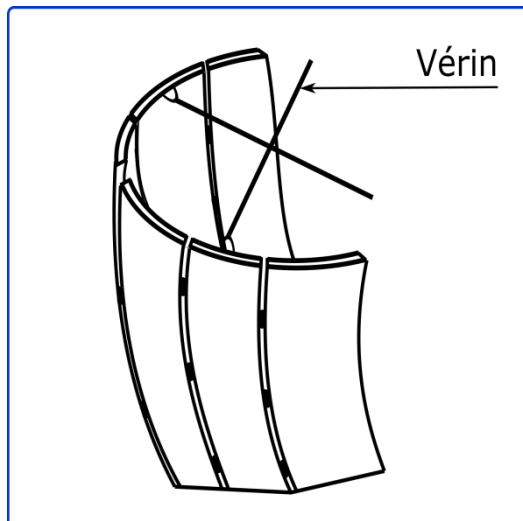


Fig V.6 : Accessoire (les vérin)

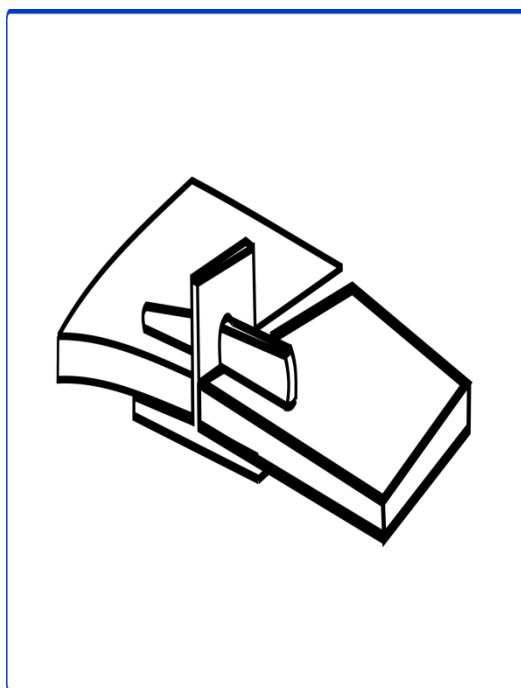


Fig V.7 : Accessoire (les clames)

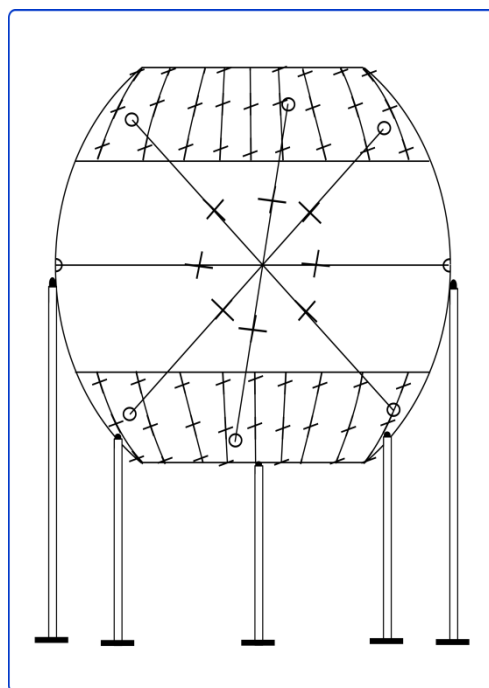


Fig V.8 : la sphère

V.6 Conclusion :

Le montage est une étape très importante dans notre projet et pour déplacer d'une étape à une autre il faut le contrôle de l'inspection.

Dans ce chapitre on a suivi tous les étapes de montage (les segments, calot supérieur et inférieur plateforme les piliers et la zone équatoriale)

CHAPITRE VI

Soudage et Contrôle

Partie 01 : Soudage

VI.1 Généralités :

Le soudage est un moyen d'assemblage permanent. Il a pour objet d'assurer la continuité de la matière à assembler. Dans le cas des métaux, cette continuité est réalisée à l'échelle de l'édifice atomique. En dehors du cas idéal où les forces interatomiques et la diffusion assurent entement le soudage des pièces métalliques mises entièrement en contact suivant des surfaces parfaitement compatibles et exemptes de toute pollution, il est nécessaire de faire intervenir une énergie d'activation pour réaliser rapidement la continuité recherchée.

L'opération peut être appliquée aux métaux ainsi qu'aux thermoplastiques (voir soudage plastique) et au bois (voir soudage du bois). Le soudage permet d'obtenir une continuité de la nature des matériaux assemblés : matériau métallique, matière plastique, etc. De ce fait, les techniques d'assemblages mécaniques (rivetage, boulonnage, agrafage...) ou collage, ainsi que les techniques de brasage ne répondent pas à la définition du soudage.

Pour souder les éléments d'un réservoir de stockage de liquide (surtout dans le domaine des hydrocarbures) le code ASME (American Society Of Mechanical ENGINEERS), demande les conditions suivantes :

- Qualification des soudures et opérateurs.
- Instruction de soudage avec mode opératoire entrepris.
- Nature de traitement thermique.
- Mode opératoire

- Principe

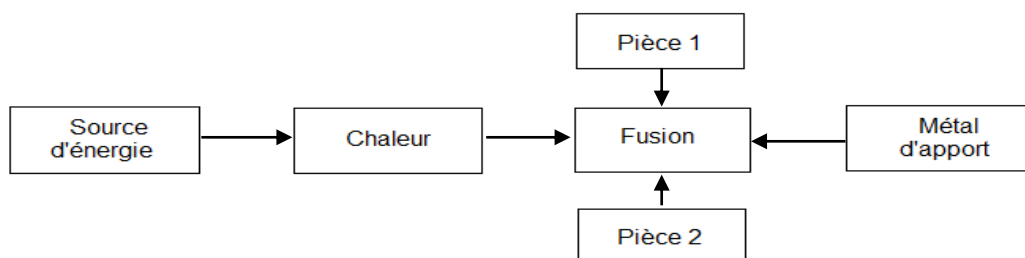


Fig VI.1 : Principe du soudage

- **Deux cas**
- La soudure Autogène :
Le métal qui compose le joint est de même nature que les pièces à souder
- La soudure Hétérogène :
Le métal qui compose le joint est de nature différente des pièces à souder

VI.2 Procédés et détails de soudage :

- Le soudage sera exécuté manuellement selon les méthodes spécifiées, par des soudeurs homologués.
- Le soudage sera exécuté de manière à assurer une fusion complète avec le métal de base, dans les limites exigées par le Code ASME.
- Pour assurer l'obtention de bonne soudure, le Soudage des éléments du réservoir ne sera pas effectué dans les conditions suivantes :
 - ✓ Lorsque les surfaces des éléments à souder sont humides par suite de Pluie, neige ou glace.
 - ✓ Durant les périodes de grand vent. (Sauf si le soudeur et son travail soient protégés conformément aux normes de soudage)
- Lorsque la température du métal de base comprise entre (-18°C et 0°C), il sera chauffé à une température chaude au toucher, sur une distance de 3Pce (76mm) du point où doit commencer le soudage.
- Lorsque la température du métal de base sera supérieure à (0°C), le soudage se fera normalement.
- Pour le soudage multi couches, chaque couche de métal d'apport sera débarrassée du laitier et autres dépôts avant l'application de la couche suivante.
- Les soudures de pointage, utilisées dans l'assemblage des joints verticaux de la robe, seront enlevées pendant l'opération de soudage. Elles ne devront pas subsister dans le joint définitif.
- Les soudures de pointage des tôles et les accessoires, n'ont pas lieu d'être enlevées si elles seront saines et si les cordons de soudure appliqués ultérieurement soient entièrement fondus dans ces soudures.
- Les soudures de pointage seront réalisées avec des électrodes de même type et nature que celles utilisées pour le soudage définitif.

- Après l'alignement, les tôles seront assemblées par une soudure de pointage, avant de procéder au soudage continu.
- Les tôles assemblées par soudage bout à bout, seront appariées avec précision et maintenues en place durant l'opération de soudage.
- Le défaut d'alignement des joints verticaux terminés ne dépassera pas les tolérances admises, 10% de l'épaisseur de la tôle ou bien 1/16'' (1,6mm) de la plus grande valeur à considérer des épaisseurs.

VI.3 Choix d'un procédé :

Le soudage relève de la métallurgie, c.-à-d il faut connaître le matériau pour le souder de façon efficace. C'est pourquoi le soudage est régi par des cahiers des charges et des modes opératoires précis. Les procédés de soudage doivent être adaptés aux conditions de service exigées, d'où la nécessité d'un choix judicieux du procédé et des conditions dans lesquelles sera exécutée la soudure.

Dans certain domaine ou' le soudage et les soudures sont fortement réglementés, comme notre cas concernant les réservoirs de stockage, le choix du procédé n'est généralement pas libre.

Donc. Le choix d'un procédé de soudage se fait en prenant en compte un certain nombre de paramètres :

- Taille et épaisseur de produit
- Problèmes de soudabilité métallurgique.
- Problèmes de soudabilité opératoire.
- Problèmes d'oxydation à chaud de la liaison.
- Problèmes de vitesse d'exécution.
- Problèmes de contraintes de déformations.

D'appris les paramètres on a choisis le procédé soudage **SMAW** (Le Soudage manuel à l'arc à l'électrode enrobée).

VI.4 Le Soudage manuel à l'arc à l'électrode :

VI.4-1 Définition du procédé :

Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée, Spécification Manuel 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.

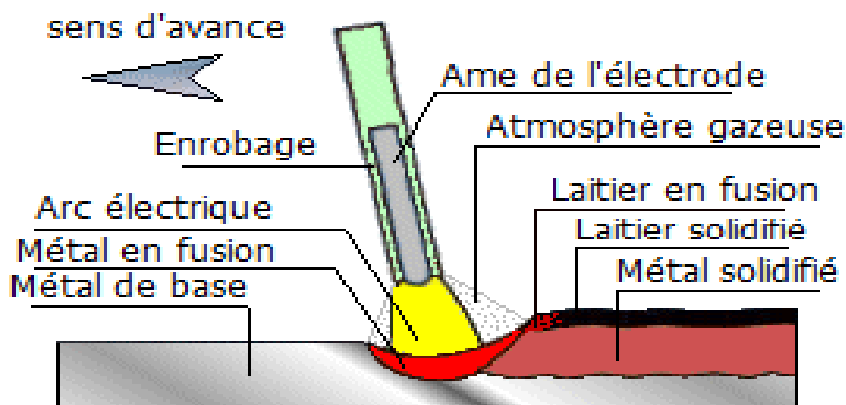


Fig VI.2 : Schéma de principe à électrode enrobée

❖ Principe du procédé :

L'électrode enrobée est placée et serrée sur une pince porte électrode reliée sur l'une des bornes électriques de sortie du poste de soudage. Le connecteur de pièce est relié au générateur et placé 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.

❖ 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.

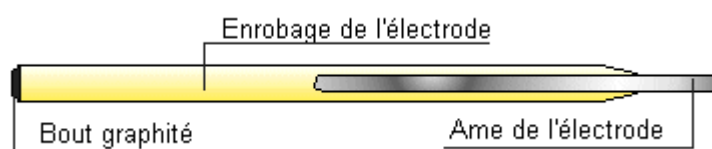


Fig VI. 3 : Schéma d'une électrode enrobée.

Le diamètre de l'électrode enrobée varie de Ø 1,6 à Ø 8 mm La longueur totale est comprise entre 250 et 500 mm Certaines électrodes peuvent atteindre 1 mètre pour des applications spécifiques (soudage automatique).

VI.5 Qualifications des modes opératoires de soudage :

Chaque fabricant ou entrepreneur doit établir des DMOS Descriptif de mode opératoire de soudage : est une procédure de soudage qualifiée écrite qui est établie pour fournir des instructions pour la réalisation de soudures de production conformément au de soudures de production conformément aux exigences du code.

Le DMOS complet doit décrire toutes les variables essentielles, non essentielles et les variables essentielles supplémentaires pour chaque procédé de soudage employé dans le DMOS.

VI.6 Soudabilité de l'acier utilisé(A537) :

Pendant l'exécution de soudage des aciers micro alliés, il faut prendre des mesures de précaution afin d'éviter l'apparition des fissures à froid, dans notre cas la probabilité d'apparition de fissures est grande du fait qu'on a des épaisseurs assez grandes, donc pour que le danger d'apparition des fissures se réduit (s'élimine) il faut suivre correctement le régime de soudage, on a déterminé les données suivantes :

➤ Calcul de quantité de carbone équivalente :

Si la valeur du carbone équipement est inférieure à 0,4%, il n'y aura pas de nécessité à préchauffer les tôles de la sphère durant le soudage. Dans le cas contraire il faut procéder au préchauffage.

La formule qui donne la valeur du carbone équivalente pour ce type d'acier est la suivante :

$$CE = C\% + Mn\%/6 + (Cu\% + Ni\%)/15 + (Cr\% + Mo\% + V\%)/5$$

$$CE = 0,25 \% + 1,025\%/6 + 0,6\%/15 + 0,33\%/5 = 0,52\%$$

Donc :

$$CE = 0,52\% > 0,3\%, \text{ ce qui conduit au préchauffage des tôles.}$$

➤ **Température de préchauffage :**

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer les températures de préchauffage avant soudage. Ceci dépend notamment des nuances d'aciers et des procédés à mettre en œuvre. On peut utiliser une méthode qui permet d'estimer la nécessité du préchauffage et sa température, le cas échéant. Cette méthode s'appelle la méthode de Sférian.

Cette méthode est également basée sur le « pouvoir trempant », elle consiste, pour un acier donné, à déterminer la température de préchauffage des pièces à souder, de manière à éviter un refroidissement trop rapide du joint qui conduirait à la formation d'une structure fragile (martensite) dans la Z.A.C. Le calcul de cette température de préchauffage s'effectue en trois étapes :

- Calcul du carbone équivalent (Ceq)
- Calcul du carbone équivalent compensé (Ceq.C)
- Calcul de la température de préchauffage.

Carbone équivalent compensé : prend en compte les épaisseurs des pièces à souder.

$C_{eqC} = C_{eq}(1 + 0,005 e)$, e : épaisseur moyenne des tôles en mm

$$C_{eqC} = 0,52 \times (1 + 0,005 (49)) = 0,65\%$$

La Température de préchauffage :

$$T_p = 350 \sqrt{C_{eqC} - 0,25}$$

$$T_p = 221 \text{ } ^\circ\text{C}$$

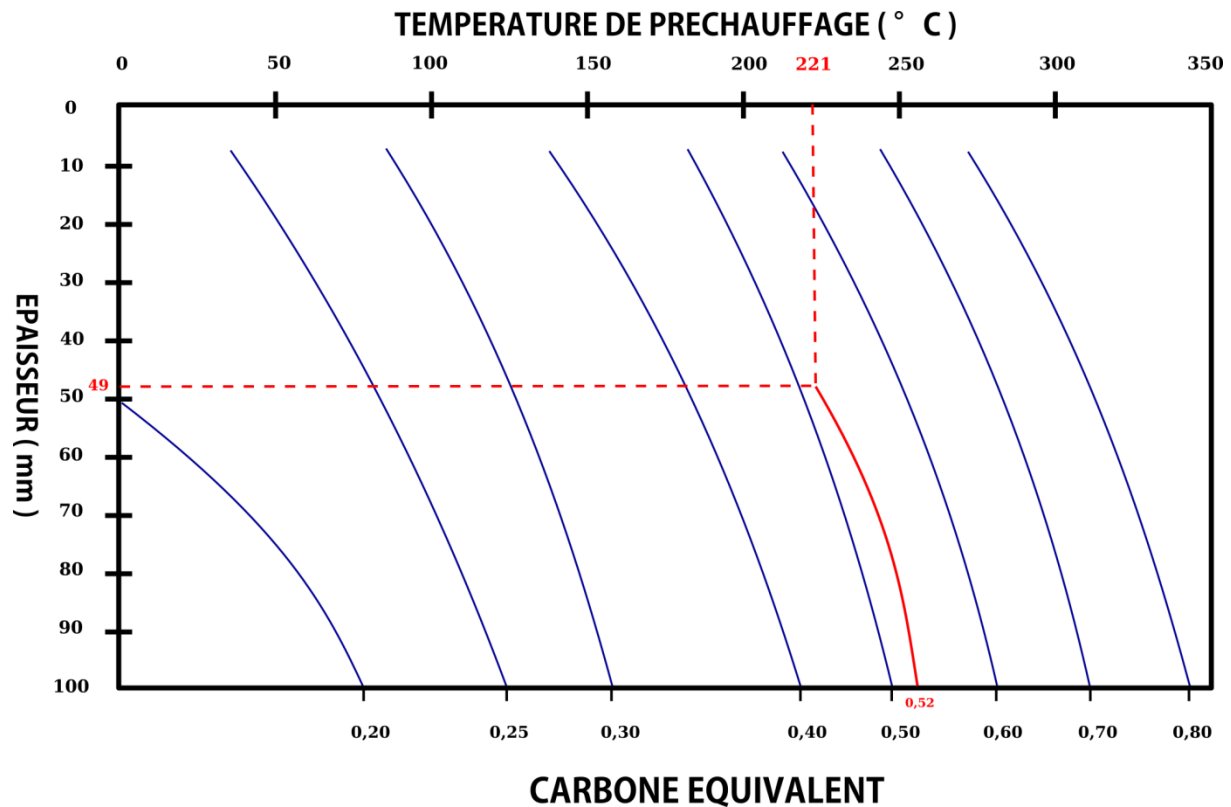


Fig VI.4 Diagramme de Seferian

UTILISATION : Le diagramme permet de déterminer la température de préchauffage, directement à partir du carbone équivalent C_{eq} .

➤ **Préparation du préchauffage du métal de base :**

Pour le contrôle de la température de préchauffage, on pose des thermocouples à 30 mm du bord du chanfrein.

Pour des raisons de protection des soudeurs en cours d'accomplissement de leur travail et en vue de réduire des pertes excessives de chaleur, les réchauffeurs doivent être isolés ainsi que la surface à préchauffer, d'au moins 500 mm du bord du chanfrein. L'isolation est réalisée en utilisant la laine minérale.

La fixation des réchauffeurs électro-résistants sur la paroi de la sphère se fera par le moyen d'électro-aimants.

VI.7 Rôle et responsabilité du soudeur :

Les pinces destinées à être assemblées par soudage sont débitées, formées, moulées et usinées séparément et ce conformément aux dessins de fabrication.

Plusieurs électrodes de nature et de diamètres compatibles avec la source de courant utilisée et le travail effectué, ont été préalablement choisies. Tout cela relève des services « Etude », « préparation du travail » et « usinage ».

A ce stade, commence le travail du soudeur ; travail consistant à réaliser le meilleur joint soudé possible, dans les conditions les plus économiques possibles. S'agissant d'un travail manuel, il peut présenter des défauts dont la détection et la préparation sont coûteuses et pas toujours possibles, mais dont la présence est, cependant, une source de danger pour les utilisateurs.

Le soudeur doit donc être non seulement qualifié et soumis à des vérifications périodiques, mais il doit aussi posséder une conscience professionnelle d'un niveau élevé. Il devra être averti des conditions de service de la construction et des dangers que peuvent présenter les imperfections qu'il aura pu observer dans son propre travail.

VI.8 Choix de l'électrode :

La pratique de soudage retenue est celle consistant à faire un soudage manuel électrique à l'arc avec électrodes enrobées.

Les indications qui suivent servent à réunir les meilleures conditions de travail.

VI.9 L'importance de l'opération :

Le choix des électrodes appropriées est d'une importance essentielle. Il convient pour cela, de faire appel aux spécialistes en la matière qui tiennent compte :

De la facilité d'amorcer et de maintenir l'arc et du bon aspect de soudure, chères au soudeur

Surtout de la qualité mécanique de la soudure dont l'appréciation relève du spécialiste.

Aussi, le choix d'une électrode doit être fait en conformité avec les exigences de la qualité et l'équipement dont on dispose. Pour réaliser ce choix il y a lieu de déterminer la nature du métal posé et le type d'enrobage.

VI.10 Facteurs du choix d'une électrode :

Les facteurs du choix d'une électrode sont autant de préalables qu'il faut observer pour réunir les meilleures conditions de travail.

➤ **Conditions de service et qualités :**

Ces conditions sont :

Une bonne résistance statique et dynamique aux sollicitations prévisibles.

- Ce facteur est chiffré par des valeurs limites (minimales ou maximales) portant sur les caractéristiques du métal, sa dureté, son aptitude à la déformation et sa limite de fatigue.
- Une bonne résistance à la corrosion.
- Une bonne étanchéité
- Un bon aspect qui renseigne sur la qualité du travail effectué.

➤ **Conditions métallurgiques :**

Les composants métallurgiques de l'électrode doivent être adaptés pour convenir au métal de base. Ces conditions permettent :

- D'obtenir des soudures parfois plus durables que le métal de base pour éviter principalement les fissurations,
- D'éviter les ruptures en déposant une passe de fond à très bon allongement en cas de soudage multi passes
- De tenir compte des pertes en éléments d'alliage (Carbone et Manganèse dans le cas de l'acier)
- De la diffusion réciproque du métal de base et de celui d'apport

➤ **Conditions constructives et dimensionnelles :**

Il convient tenir compte des différentes passes successives lors du soudage des fortes épaisseurs en veillant à adapter les électrodes à la conception générale de la pièce.

➤ **Conditions opératoires :**

Avant toute utilisation des électrodes, il est nécessaire de disposer au préalable du minimum d'équipements suivants : sources de courant, montages, appareils de manutention, étuves, installations de préchauffage, installations de traitement après soudage, positionneur, ...

Ces conditions permettent d'effectuer les différentes sans contrainte de temps, de disponibilité de matières et de consommables.

VI.11 Comment choisir les électrodes :

Après avoir analysé soigneusement les différents aspects indiqués ci-dessus, le choix a porté sur les types d'électrodes suivants :

Le E 70 18 G : pour les premières passes pour assurer une bonne pénétration du métal déposé.

Le E 80 18 G : pour le remplissage des joints.

Tel que :

La lettre « E » : indique qu'il s'agit d'une électrode enrobée

70, 80 : désigne la résistance à la rupture à la traction du métal d'apport (70daN/mm², 80 daN/mm²)

18 : désigne l'allongement minimal du métal d'apport sur une longueur donnée.

G : désigné la nature de l'enrobage.

VI.12 Difficultés en cours de soudage à l'arc :

Les difficultés qui se présentent en cours de soudage sont les suivantes :

- L'arc ne s'amorce pas ou s'éteint bien que sa longueur soit normale.
- L'électrode n'est pas bien serrée dans la porte électrode, son enrobage gêne, la porte électrode est encrassé.
- Le réglage choisi n'est pas correct, l'intensité est trop faible.
- Le circuit de soudage est à vérifier (cosse à resserrer, câble endommagé, etc..).
- Le porte électrode est brûlante :
- Section du câble trop faible ou brins rompus.
- Embout de câble dessoudé ou desserré : mauvaise connexion.
- L'arc est instable et ronfle :
- L'arc est trop long.
- Le connecteur de pièce est trop rapproché de l'arc.
- L'ordre de succession des soudures est incorrect.
- L'arc claque et les projections sont excessives :
- Intensité trop forte.
- Arc trop long.
- Electrode défectueuse ou mauvaise polarité (en courant continu).
- Soufflage magnétique excessif.
- L'électrode est portée au rouge :
- Intensité trop forte.
- L'électrode colle à la pièce :

- Intensité trop forte.
- Pénétration insuffisante :
- Intensité trop faible ou vitesse d'avance trop grande.
- Joint mal préparé.
- Diamètre d'électrode mal choisi.
- Longueur d'arc trop courte (pouvant provenir d'une tension à vide trop basse).

VI.13 Préparation des joints de soudures :

Sur le plan des coûts de fabrication, les chanfreins sont indispensables es à chaque fois que la pénétration exigée ne peut se faire sans préparation. C'est toujours le cas, au-delà d'une certaine épaisseur e qui en fonction de procédé de soudage utilisé. Pour l'acier,

$e > 6$ mm en soudage à l'arc avec électrodes enrobées. Les déformations et les contraintes résiduelles dues aux phénomènes de retrait sont liées pour une part à l'importance du jeu E entre les becs et de l'angle a des chanfreins : plus E et a sont grands et plus les phénomènes de retrait entraînent des déformations et des contraintes résiduelles; il faut donc limiter leur valeur au minimum compatible avec la pénétration exigée

Puisque les différentes épaisseurs des tôles à souder sont supérieures à 38 mm et l'électrode utilisée est à forte pénétration, il est recommandé de préparer les joint en « X » tel qu'expliqué dans la figure ci-après

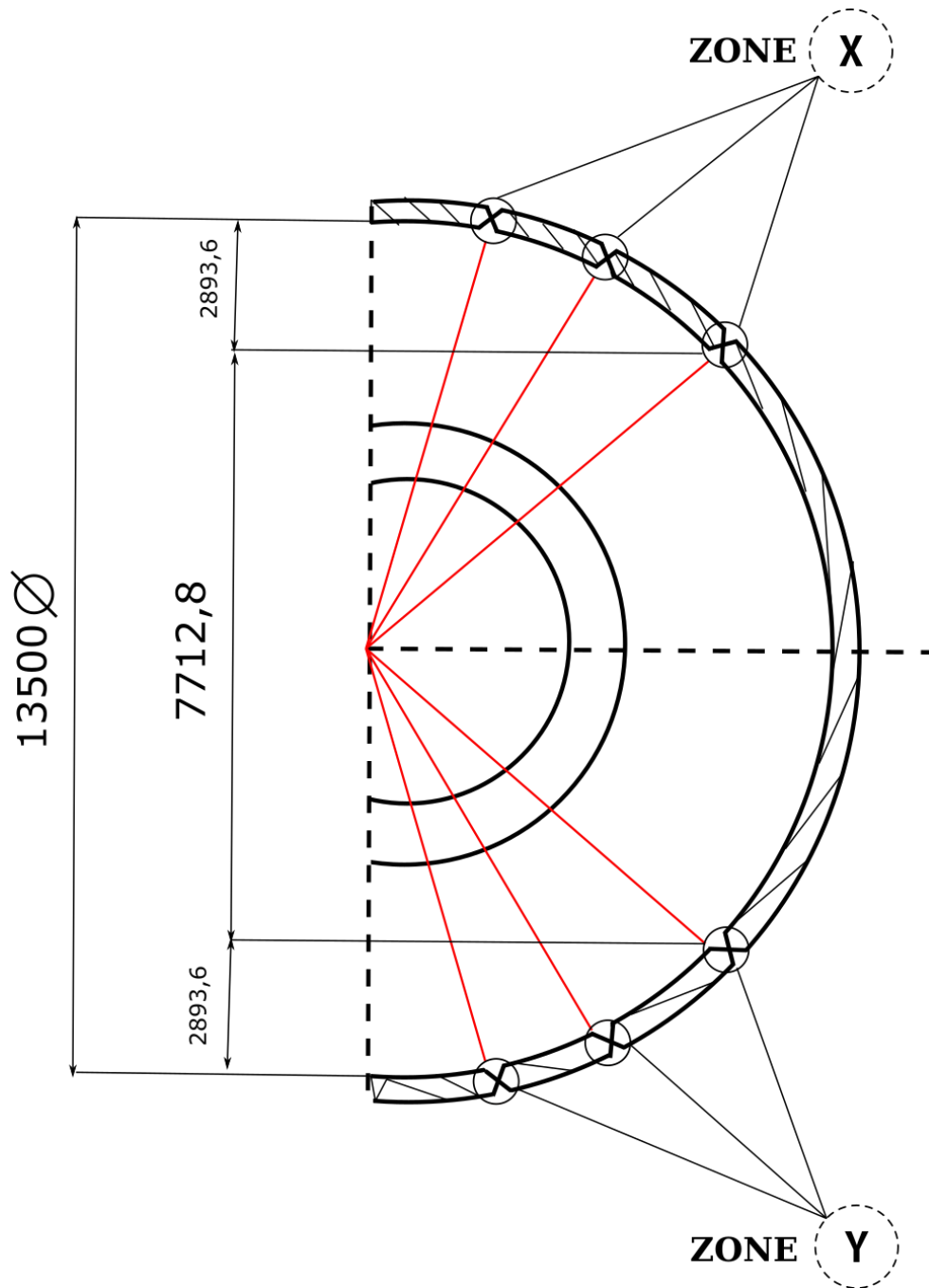


Fig VI.5 : disposition des joints de la soudure pour la sphère

➤ détails des joints

Pour les deux détails on a deux toles soudee bout a bout, chanfreinees en X

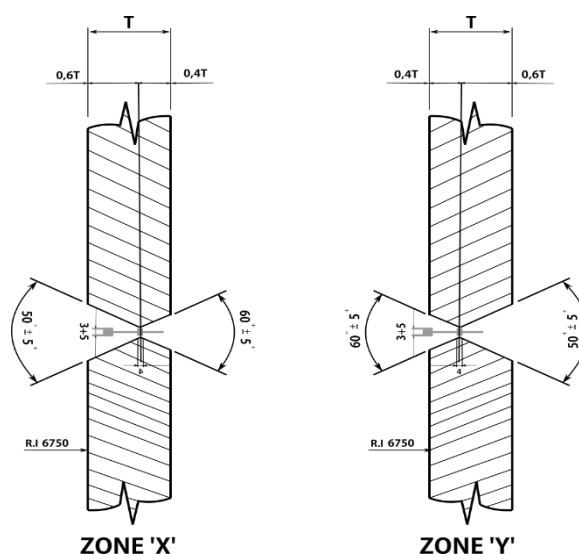


Fig VI.6 les joints de soudures

VI.14 Vérification de la qualité des électrodes :

Il faut la faire par soi-même (si on dispose des qualifications requises) ou par un spécialiste désigné (fabricant, organisme spécialisé). Considérant qu'actuellement les fabricants d'électrode sont tenus d'avoir un système qualité, il y a lieu lors de la commande de s'assurer que ce fabricant de produit est bien outillé et répond aux normes exigées en la matière et de fixer par la suite le choix de l'électrode. A titre d'exemple nous mentionnons ci-après les principaux défauts qui peuvent apparaître ainsi que leurs conséquences

- Présence de craquelures dues à un mauvais séchage, ce qui conduit à rejeter les électrodes
- Epaisseur d'enrobage variable sur la longueur d'une même électrode
- Fragilité de l'électrode qui entraîne un décollement de l'enrobage
- Porosité de l'enrobage et mauvaise résistance à l'humidité
- Non homogénéisation des électrodes entre elles dans un même lot. En effet d'une électrode à l'autre on a des différences en matière de constance de l'âme ou de l'enrobage

Partie 2 : Contrôle de soudage

VI.1 Introduction :

Pour que la soudure puisse résister aux sollicitations pour lesquelles elle a été calculée dans les conditions de service prévues, elle doit être exempte de défauts, du moins ne pas présenter de défauts importants ou susceptibles de s'aggraver et qui rendraient la structure dont elle fait partie impropre à l'usage auquel elle est destinée.

Le contrôle des soudures a pour but la prévention, la détection et l'appréciation du degré de gravité des défauts de soudure. C'est donc une opération toujours utile et souvent indispensable, d'autant plus que les conditions d'exécution des soudures, les méthodes de contrôle, etc... sont souvent fixées par des textes légaux ou réglementaires, les règles des organismes de surveillance ou les spécifications et cahiers des charges stipulées lors des commandes.

Le contrôle de soudure s'exerce en cours de fabrication après l'exécution et parfois en service à l'occasion d'examen périodique. Il comprend :

- La prévention des défauts par le contrôle des métaux, la surveillance de la préparation de bord, l'adaptation des techniques correctes de soudage.
- La détection et la localisation des défauts ainsi que la détermination de leur importance.
- L'interprétation des résultats précédents afin de prononcer la recette ou la réception ou le rebut des pièces soudées. Le contrôleur peut aussi décider la réparation des défauts lorsque la chose est possible. Il fixe alors la façon de procéder à cette retouche.
- La rédaction d'un rapport auquel il sera possible de se reporter lors d'examens ultérieurs ou en cas d'incidents en service.

VI.2 Conditions générales :

- La sphère sera complètement nettoyée de toute saleté, éclaboussement, tarte et tout autre corps étranger avant d'effectuer l'épreuve hydrostatique.
- Le contrôle portera sur l'étanchéité des soudures, la fixation des accessoires ainsi que le tassement des fondations.
- L'essai sera fait à l'eau, sa température ne doit pas être inférieure à 16° C

- La pression de l'épreuve est de l'ordre de 29 kg/cm².
- La durée d'épreuve est deux heures au minimum

VI.3 Défauts des soudures :

Les divers défauts dans les assemblages soudés ont des formes et des positions très divers, ils peuvent être :

- ✓ Plans (fissures, collage...)
- ✓ Volumiques (inclusions, soufflures ...)
- ✓ Interne ou non débouchâtes.
- ✓ Externes ou débouchâtes.

Ces défauts peuvent avoir des origines multiples :

- Mauvaise préparation des assemblages (chanfrein trop fermé).
- Positionnement des pièces incorrect (décalage entre les pièces).
- Procédure de soudage inadéquat (intensité trop élevée ou trop faible).
- Procédure de soudage mal adoptée (protection insuffisante).
- Interaction matériau-procédé mal prise en compte (fissuration à froid).

Pour cela il est préférable de respecter quelques règles, avant et pendant le soudage.

VI.3-1 Avant le soudage :

- Bonne conception de l'ensemble soudé.
- Vérification des caractéristiques chimiques et mécaniques du matériau.
- Qualification du procédé utilisé (paramètres et séquences de soudage).
- Qualification de la main d'œuvre pour le soudage et le contrôle.
- Conformité des préparations des joints (écartement des joints, chanfreins, etc.)

VI.3-2 Pendant le soudage :

Respect des conditions de soudage (procédé, paramètres, séquences, etc.).

Ceci implique de déterminer au préalable la qualité du joint exigée pour l'ensemble considéré, de cette qualité dépend l'importance et la sévérité des contrôles et essais qui devront être pratiqués.

Les différents types de fissures qui peuvent se produire dans la Z.A.T. ou dans la zone de liaison, à la jonction de la zone fondue et du métal de base.

Fissuration à froid :

Fissuration apparaissant à basse température dans la .Z.A.T et qui suivent parfois plusieurs heures après l'exécution de la soudure.

Les principaux facteurs de la fissuration à froid sont :

- la présence d'une structure fragile (martensite).
- La présence de l'hydrogène.
- Etat de contrainte dans la Z.A.T.

ZAT: zone affectée thermiquement

- **Fissuration à chaud :**

Elle se produit au moment de refroidissement, ses causes essentielles sont :

- Un bridage excessif du joint, un rapport T/U (intensité/tension du courant) trop important ou des dimensions du bain de fusion telle que : le rapport profondeur/largeur

- **Fissuration par attachement lamellaire :**

Le choix judicieux du matériau, permet d'éviter ce type de fissuration en l'associant à une conception du joint ne favorisant pas l'arrachement de la peau du produit, ce sont les pièces à une épaisseur ($e > 25$ mm), et sollicitées suivant leur épaisseur, qui présentent ce risque de fissuration.

- **Défauts opératoires :**

Les défauts qui peuvent donner lieu a prise de joint ou à la mise en cause de résistance de ce dernier sont :

- Manque de pénétration : il provient du non-respect ou de mauvais choix des conditions de soudage (I, U, Ø), préparation des bords,
- Dénivellation des bords : elle peut être due à une mauvais préparation du joint, à une mauvaise fixation des bords,
- Morsures en surface, caniveaux : ils sont le fait d'une énergie de soudage très importante ou d'une mauvaise position de l'électrode

Inclusion du laitier : on le trouve entre les différentes passes ou au croisement des soudures, elles ont pour cause une insuffisance de nettoyage entre chaque passe ou une mauvaise technique opératoire

VI.4 Contrôle soudage :

VI.4-1 Le contrôle visuel :

C'est le plus simple et le plus indispensable des procédés de contrôle des soudures qui doit toujours précéder la mise en œuvre des autres procédés. C'est souvent le contrôle visuel qui fait décider d'un examen plus complet par un procédé scientifique.

Le contrôle visuel doit être confié à un technicien averti, connaissant bien le soudage à l'arc et ayant subi une formation particulière. En effet la détection visuelle des défauts de soudure nécessite un certain entraînement.

Le principal équipement du contrôleur chargé d'examen visuel est un petit projecteur permettant d'éclairer vivement les zones à examiner et de verres grossissants (de 03 à 10 fois) ou un microscope binoculaire.

Il devra également disposer de jauges et autres instruments appropriés pour pouvoir procéder aux contrôles dimensionnels (sur épaisseur, déformation, etc....).

L'examen visuel commence en cours de soudage, principalement entre passe, mais le contrôle peut faire interrompre une passe en cours d'exécution pour effectuer par exemple un examen à l'envers qui ne serait plus possible après. Les passes de fonds dont le refroidissement est rapide et qui de ce fait présentent de fréquents défauts doivent toujours être l'objet d'une vérification minutieuse.

La plupart des défauts apparaissent à la surface du cordon, à l'exception de fines fissurations, peuvent généralement être détectés par examen visuel. En particulier : formes défectueuses, sur épaisseurs ou manque de métal, morsures d'arc, projections de métal fondu, mauvaise reprise, fissures importantes et porosités débouchant à l'extérieures et lorsque l'examen à l'envers est possible, le manque de pénétration qui est un défaut grave.

L'examen visuel peut ensuite être suivi d'un contrôle plus complet par l'application des procédés décrits

VI.4-2 Procédés de contrôle plus simple :

Ces procédés simples comprennent essentiellement :

- Le contrôle par ressuage
- Le contrôle d'étanchéité

VI.4-3 Le contrôle par ressuage :

Ce procédé consiste à badigeonner ou à pulvériser le cordon de soudure préalablement dégraissé au moyen d'un liquide mouillant et généralement coloré qui pénètre par capillarité dans les interstices débouchant en surface. Celle-ci est alors essuyée avec soin, séchée et recouverte d'une couche de talc ou produit équivalent en suspension dans un solvant volatil. Ce dernier s'évapore rapidement et le liquide coloré à l'endroit du défaut (Fig VI.5).

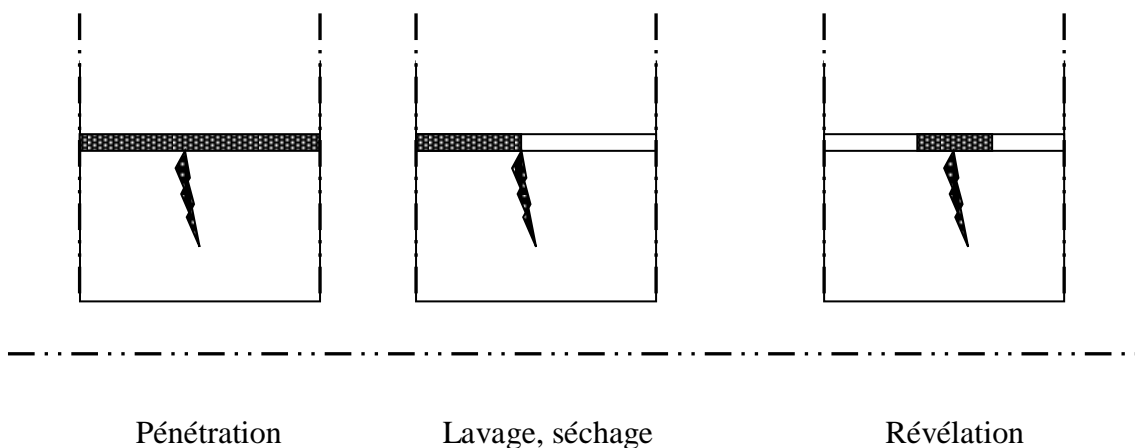


Fig VI.7 Méthodes de ressuage

On peut utiliser, pour appliquer ce procédé, par exemple des liquides pénétrants colorés qui se trouvent tout préparés, tel que celui dont la formule est donnée ci-après :

Toluène : 10% Rouge organale BA5 dans du lactate de butyle : 0,6

Il est également possible de procéder à un essai par fluorescence à la lumière ultraviolette qui permet de mettre en évidence des défauts plus fins que ceux détectés par les procédés précédents. Après un dégraissage soigneux, la pièce est enduite localement d'un sel luminescent puis essuyée et séchée. Elle est alors examinée à la lumière Wood dans l'obscurité. Les fissurations en porosité apparaissent brillantes sur un fond plus sombre.

VI.4-4 Contrôle d'étanchéité :

CE contrôle est pratiqué sous des formes diverses sur tous les récipients soudés qui doivent contenir des fluides.

VI.4-5 Contrôle externe des joints :

1. **Contrôle dimensionnel** : il permet de vérifier la surépaisseur ou la gorge du cordon de soudure,
2. **Contrôle visuel** : l'observation attentive du joint permet de déceler les criques débouchant sur surface, la dénivellation des bords, les caniveaux et parfois le manque de pénétration.
3. **Contrôle par ressuage des fissures de surface** : le principe de ce contrôle est :
 - a)- la surface de la tôle à examiner est arrosée à l'aide d'un liquide à fort pouvoir de pénétrant, teinter en général en rouge.
 - b)- la surface est nettoyée par un solvant.
 - c)- on projette sur la surface de la tôle qui absorbe le liquide resté dans la surface de la fissure et indique ainsi l'endroit du défaut.
4. **Contrôle magnétique** : il permet la détection des fissures débouchant en surface ou des défauts très proches de celle-ci, sur les matériaux exclusivement. On fait parcourir la pièce par un champ magnétique, après l'avoir recouverte de poudre magnétique, la répartition non uniforme de la poudre signale la présence des défauts, à condition que ces derniers soient perpendiculaires au flux magnétique qui se trouve ainsi dévié,

VI.4-6 Contrôle interne des joints :

- **Contrôle par radiographie :**

Lorsque les rayons x ou γ traversant un matériau homogène, ils sont progressivement absorbés au cours du trajet, s'ils rencontrent une cavité (défaut de soudage), l'intensité de la radiation qui impressionnera le film sera plus importante que dans le reste du matériau, si la pièce est parfaitement homogène, le film sera noir, tandis qu'aux endroits des défauts il sera plus ou moins sombre, en fonction de la différence de perméabilité aux rayons.

Les inclusions planes et les discontinuités de très faible épaisseur et dont la direction est orthogonale à celle des rayons sont difficilement décelable par radiographie.

- **Contrôle par ultrason :**

Les ondes ultrasonores ont les caractéristiques que les ondes acoustiques, mais elles ont une fréquence plus élevée, si l'on pose à la surface d'une pièce homogène une onde excitée, les impulsions ultrasoniques pénètrent dans la pièce et s'y propagent à la vitesse du son dans le matériau considérée (5000m/s dans l'acier). Dès qu'elles rencontrent la sonde qui convertit alors des impulsions électriques observées sur un oscilloscope, entre l'écho de départ et l'écho de fond, se situe le temps mais par ultrasons pour parcourir l'épaisseur de la pièce, si pendant leur trajet, les ultrasons rencontrent un défaut celui-ci donnera lieu à une réflexion et à un écho qui parviendra à la sonde avant l'écho du fond.

VI.5 L'essais :

VI.5-1 Essai hydrostatique :

L'épreuve hydrostatique, sera effectuée conformément à L'ASME VIII DIV I, Paragraphe UG -99

Cette épreuve réglementée par divers décrets et arrêtés, sert à vérifier à la fois l'étanchéité et la résistance de l'ensemble aux sollicitations de service. La pression d'épreuve est fixée par le règlement de l'ordre de 1,5 à 2 fois la pression de service.

ASME (American Society For Testing and Materials).

Le réservoir est rempli d'eau à la température ordinaire et totalement purgé d'air grâce à des robinets placés là où pourraient se former des poches d'air. Deux manomètres, dont un étalon, sont disposés pour mesurer la pression intérieure. Si les aiguilles de ces manomètres vibrent ceci indique qu'il reste des poches d'air.

La pression est maintenue pendant un temps déterminé afin que les défauts, notamment les fissurations, aient le temps de s'accroître sous l'effet de la pression.

Pour accélérer ce phénomène, on procède parfois à un martelage des soudures après avoir abaissé la pression à une valeur fixée, (par exemple 1,25 fois la pression de service).

VI.5-2 Essai pneumatique :

Cette épreuve consiste à remplacer l'eau utilisée dans l'essai précédent par un gaz comprimé, par exemple de l'air. On peut également utiliser des gaz plus fugaces, après avoir éventuellement fait le vide ou purgé à l'azote, tout l'air contenu dans le réservoir, par exemple le fréon ou le gaz ammoniac.

En raison du danger, on ne peut effectuer ces essais aux mêmes pressions que les essais hydrauliques et on les utilise pour vérifier l'étanchéité et non la résistance à faible pression, de l'ordre de 0,3 à 0,4 bar. La pression est élevée par palier et si les joints soudés ont été badigeonnés d'eau savonneuse, les fuites sont décelées par la formation de bulles.

Si on utilise le fréon, celui-ci se manifeste en colorant en vert la flamme de la lampe à halogène. Le gaz ammoniac est détecté au moyen d'une peinture ou d'un ruban révélateur collé sur les joints.

VI.5-3 Essais mécaniques :

Ils ont pour but de contrôler les assemblages soudés du point de vue de la résistance, les principaux essais sont : traction, dureté, pliage, résilience.

VI.6 Conclusion :

D'après la normes ASME section IX on a pu déterminer le procédé le plus adéquat pour ce projet, qui est « le procédé SMAW » ce dernier ne nécessite pas des équipements lourds ce qui est très pratique pour faciliter la tâche et garantir un coût minimum avec une performance optimale.

Dans notre cas on commence par le contrôle visuel, après le ressuage dans quelques points exemple poteau sphère et poteau platine parce que le control radiographie n'est pas pratique et pour les joints bout à bout sollicite un gronde pression on utilise le contrôle radiographie (entre joints vertical et horizontal).

CHAPITRE VII

Traitement Thermique

Traitement Thermique

VII.1 Introduction :

Pour éliminer les contraintes résiduelles d'après le soudage et le revenu des zones qui ont subi une trempe martensitique (duretés élevées dans le ZAT), on fait subir à la sphère un traitement thermique, mais il n'est pas toujours possible d'exécuter ces opérations de traitement par fourneau conventionnel à cause des restrictions imposées par la chaleur après soudure dans l'emplacement la taille physique.

Dans ces circonstances, on doit exécuter traitement par chaleur sur place soit en construisant un fourneau temporaire autour de la sphère, soit en isolant la surface externe de la construction et appliquant la chaleur à l'intérieure la méthode la plus appropriée pour fournir de la chaleur et sous forme d'un jet à grande vitesse de gaz chauds qui transfère la chaleur par convection forcée à l'acier.

De cette façon l'uniformité de température au sein de la structure est maximisée en même temps le nombre d'unités de brûleurs nécessaire maximum, par exemple une simple chaleur une construction d'emménagement e gaz chauds est réduit au de brûleurs peut être utilisée pour traiter par la chaleur une construction d'emménagement

VII.2 Procédure du traitement thermique :

Afin d'aboutir au dimensionnement de tout la sphère éliminer résidus de contrainte résiduelles due à l'opération de soudage, utilise le gaz brûlé à grande vitesse et de température nominale de 600°C le diagramme de dimensionnement (relaxation).

Au cours du traitement thermique, En vue de permettre la dilatation et la contraction libre du diamètre chaque poteau doit être libéré et appuyé sur des rouleaux, Ces dernières permettent le déplacement de la sphère au cours de son chauffage et son refroidissement, La surface extérieure de la sphère sera isolée par la laine minérale afin d'éviter les déperditions de chaleurs. L'épaisseur de cette isolation est de 75mm, Masse volumique est de 100kg/m³, Résistante jusqu'à la température max 610°C.

La laine minérale est renforcée par un treillis de fils d'acier, Cette fortification sert à armer l'isolation par des bandes de façon circulaire de 3 à 4m (espacement), On isolera également les trous d'hommes et les parties supérieures des poteaux.

- Le traitement thermique sera effectué à l'aide de 1 brûleur un brûleur sera posé au sommet de la sphère (mode de fixation)

VII.2-1 Régime du traitement thermique :

Le régime (cycle thermique) est décrit de la prose dure de soudage.

- La vitesse de chauffage doit être de 45 à 60°C/h jusqu'à atteindre la température 600°C. Cette dernière doit être maintenue pendant une durée de 2h
- La vitesse de refroidissement est limitée de 40 à 50°C/h jusqu'à la température 300°C.

Après la chute de température à 300°C, On coupera la fourniture de chaleur.

VII.2-2 Mode de chauffage :

Le traitement thermique se fait à l'aide d'un 1 brûleur à grande vitesse qui éjectent des gaz à grande vitesse à l'intérieur de la sphère pour permettre un chauffage uniforme dans toute la surface

La construction de brûleur est tel qu'il fournit une chaleur de 1.5x10⁶kcal/h avec une consommation d'air de 2200m³/h, La longueur de flamme est d'environ 300mm.

La grande vitesse des gaz assure un chauffage uniforme de la virole de la sphère.

Chaque brûleur est muni d'un allumeur de gaz en vue de garantir l'allumage du gaz.

La flamme est contrôlée par l'intermédiaire d'un dispositif de captage ultraviolet relié à la soupape de sûreté l'allumage se fait à partir des échafaudages supérieure et inférieure comme gaz de combustion, On utilise GPL, On devra assurer la quantité nécessaire pour effectuer le traitement thermique.

- Au sommet et au fond de la sphère, On assure les conduites de décharges pour les gaz brûlés, On prévoira des clapets pour régler l'échappement.

VII.2-3 Contrôle de la température :

Le fonctionnement du bruleur est réglé manuellement, Les thermocouples sont posés un peu partout sur la sphère, Les thermocouples sont au Ni-Cr soudée a la sphère, Ils sont raccordés aux appareils de mesure de T°c (enregistrement de T°c) lors du traitement thermique, Les tolérances de température en phase de chauffage ou de refroidissement est de $\pm 35^{\circ}\text{c}$ entra les différents thermocouples.

On cas de danger ou un arrêt d'urgence, il existe un bouton poussoir d'arrêt qui fermera à la fois les valves de sécurité du gaz principal ou gaz pilote

VII.2-4 Alimentation en gaz :

Pour assurer l'alimentation en gaz, le plus efficace c'est de mettre en place un poste central constitué de 2 réservoirs un poste de vaporisation.

Le système tubulaire du poste jusqu'au bruleur doit être subi à l'essai de résistance et d'étanchéité.

L'essai d'allumage du bruleur exécuté avant le traitement thermique

VII.2-5 Dilatation et déplacement des pieds de la sphère pendant la chauffe :

L'augmentation de la température de l'acier engendre une dilatation du périmètre de la sphère au cours de la chauffe, cette augmentation crée un déplacement de chaque pied.

Donc on est obligé de vérifier le déplacement des pieds toutes les heures et procéder au déblocage du pied

Afin de permettre aux pieds de bouger pendant la chauffe et le refroidissement de la sphère, on doit les soulever puis les poser sur des tubes pleins en laissant les boulons d'encrages desserrés.

VII.3 Procédure de mis-en marche du bruleur :

- 1- Vérifier que le système de fourniture de gaz est adéquat.
- 2- S'assurer que tout permis ou document similaire pour « travaux à chaud » a été reçu la ou c'est nécessaire.
- 3- Vérifier que l'intérieur du réservoir est exemple de tout matériau combustible.

- 4- Vérifier que l'extérieur du réservoir est exempt de tout contact avec des matériaux combustibles et qu'il soit vraisemblable qu'il en restera ainsi même quand le réservoir se dilatera.
- 5- Vérifier que le réservoir est purgé de façon adéquate et exempt de tout gaz dangereux.
- 6- S'assurer qu'il n'y ait aucun personnel non autorisé dans le lieu du travail.
- 7- Raccorder le ventilateur à air de combustion au brûleur avec le tuyau souple d'air en utilisant deux attaches par raccordement.
- 8- Raccorder l'alimentation électrique triphasée au ventilateur et vérifier la direction de rotation, puis couper le courant.
- 9- Connecter les câbles d'inter-raccordement entre le ventilateur, La console de commandes et le brûleur. C'est-à-dire :
 - a) Le câble d'alimentation de ventilateur à la console de commande.
 - b) Le câble d'allumage de la console de commande au brûleur.
 - c) Le câble du détecteur de flamme de la console de commande au brûleur y compris la cellule à rayons ultra-violet.
- 10- Raccorder la console de commande au brûleur et l'alimentation principale de gaz à la console de commande en utilisant les tuyaux souples à gaz et en employant deux attaches par raccordement.
- 11- Mettre en marche le ventilateur à air et vérifier le débit d'air à travers le brûleur et le fonctionnement de la valve à air.
- 12- Le brûleur doit être retiré du réservoir et dirigé vers la direction où il ne causera aucun dégât.
- 13- Mettre à zéro l'indicateur de pression en utilisant la vis de réglage placée à l'avant.
- 14- Ouvrir la valve d'air sur le brûleur.
- 15- Ouvrir le gaz à la console de commandes et vérifier la pression en s'assurant qu'elle est comprise entre 2 et 4 bars.
- 16- S'assurer qu'aucune personne non autorisée est au voisinage du brûleur.
- 17- Ouvrir la valve manuelle de gaz d'environ un demi-tour et appuyer sur le bouton poussoir de mise en marche du brûleur.
- 18- Ouvrir lentement la valve manuelle du gaz pour augmenter le débit de gaz du brûleur.
- 19- Noter les températures à l'aide des thermomètres placés un peu partout dans le réservoir.

- 20- Pour arrêter le brûleur d'une façon contrôlée : fermer petit à petit la valve du gaz jusqu'à ce qu'elle soit complètement fermée. Appuyer ensuite sur le bouton poussoir de fermeture des valves du gaz.
- 21- Couper le ventilateur et retirer le brûleur.
- 22- Isoler électriquement l'équipement.

VII.4 Conclusion :

Le traitement thermique est un procédé exigé par le code ASME pour éliminer les contraintes résiduelles et récupérer les caractéristiques mécanique initiales de matériau.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Comme conclusion, nous disons que notre étude nous a permis de connaître les différentes méthodes de travail dans les bureaux d'études spécialisés actuels et les nombreuses applications des notions théoriques qui nous avons appris durant nos études.

En outre ce sujet nous a permis de découvrir des connaissances dans l'une des plus importantes filières industrielles, qui est la chaudronnerie.

La réalisation de ce genre des sphères est basée surtout sur les calculs des épaisseurs des parois qui forment le réservoir, puisque les hydrocarbures ont des caractéristiques différentes d'un produit à l'autre, ces différences ont fait que l'épaisseur de ces réservoirs varie d'un produit à l'autre et varie au sien même d'une sphère de stockage d'un seul produit.

Cette étude a été une bonne occasion d'apprendre à utiliser différents logiciels et les normes de calcul et de dessin. Ces logiciels deviennent aujourd'hui une nécessité qui réduit le temps d'étude et d'exécution avec une possibilité de modification très rapide et précise

Les calculs du vent nous ont fait constater que l'effet de ce dernier peut être négligé devant l'influence du séisme qui est calculé par méthode statique équivalente (méthode fournie dans le règlement RPA 99), ASME (American society of mechanical engineers)

Nous avons aussi élargi nos connaissances dans l'application des nouveaux règlements de calcul EUROCODE 3 (calcul des structures en acier), RNV65 (règlement neige et vent) RPA99 (règlement parasismique)

Enfin nous espérons que ce projet qui représente pour nous une première expérience pratique dans l'étude aidera les futurs ingénieurs dans leur projet de fin d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

❖ Code et règlements :

- EUROCODE 3 : calcul de structure en aciers
- MEMOTECH 4 : structure métallique
- Règlement neige et vent RNV 65
- Règle parasismique algériennes RPA 99 version 2003
- Norme ASTM (American society for testing and material)
- CM66 : règle de calcul des constructions en acier
- ASME (American society of mechanical engineers) boiler and pressure vessel code
 - ASME Section VIII DIV 1: rule for construction of pressure vessels
 - ASME Section IX: welding and brazing qualifications
 - ASME II part C : pour le choix d'électrode
 - ASME V : pour control non destructive

❖ Logiciel

- AutoCAD
- Robot Millénium
- Inkscape

❖ Memoire fin d'étude

- Etude et conception d'un réservoir sphérique pour le stockage du butane d'une capacité de 2800 m³ (COTE N° mast-1269)
- Auteur : BOUMEKOUENZ Mohammed
- Promotions 2014/2015 (FSI)

❖ Livre et documents

- Cours métallurgie du soudage
- Auteur : Jean claude TETOT.

❖ Site web

- www.soudure.com
- <http://cnrsm.creteil.iufm.fr>