

REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ AMAR THELIDJI-LAGHOUAT  
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



## Mémoire

*En vue de l'obtention du diplôme de Master*

DOMAINE : SCIENCES ET ECHNOLOGIE

FILIERE: GÉNIE GAZIER

OPTION : GENIE GAZIER

## THEME

**CALCUL DE RESISTANCE DES EQUIPEMENTS  
STATIQUES A LA POUSSEE DU VENT**

Réalisé par :

MAËCHE Mostafa Imad Eddine  
KORICHI Abdelatif

Encadré par :

D.MERIGUI Khaled

**Jury :**

Président  
Examineur  
rapporteur

ABDELMOUIZ  
HADJAJ  
MERIGUI

Ahmed  
Asma  
Khaled

*PROMOTION 2021/2022*

## Sommaire

---

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

### **Chapitre 1 : Introduction à l'installation des équipements pétroliers**

#### **I. Introduction à l'installation des équipements pétroliers**

I.1. Notions sur les équipements pétroliers.....	2
I.1.1. Classification des équipements pétroliers.....	2
I.1.2. Conditions à remplir par un équipement pétrolier.....	2
I.1.3. Exigences de comportement des équipements pétroliers.....	3
I.2. Ancrages et fixations des équipements pétroliers.....	3
I.2.1. Système d'ancrage par tige scellée et plaque d'embase.....	3
I.2.3. Système d'ancrage par tiges précontraintes traversantes.....	5
I.3. Les appareils d'installation des équipements pétroliers .....	6
I.3.1. Les appareils de levage .....	6
I.3.1.1. Différents types d'appareils de levage .....	6
I.3.1.1.1. Levage suspendu.....	6
I.3.1.1.2. Levage porté.....	6
I.3.1.2. Caractéristiques des appareils de levages.....	6
I.3.1.2.1. Appareils fixes.....	6
I.3.1.2.2. Appareils déplaçables.....	6
I.3.1.2.3. Appareils démontables.....	7
I.3.1.2.4. Appareils mobiles.....	7

### Chapitre II : Installation des équipements pétroliers statiques

#### II. Installation des équipements pétroliers statiques

II.1. Préparation avant montage .....	8
II.2. Précautions avant montage.....	8
II.3. Mise à niveau et verticalité.....	9
II.3.1. Equipements horizontaux .....	9
II.3.2. Equipements verticaux.....	9
II.4. Procédure de montage des plateaux pour colonne.....	10
II.4.1. Préparation.....	10
II.4.2. Vérification à effectuer avant montage.....	11
II.4.3. Montage de plateaux.....	11
II.5. Procédure de montage d'un four cylindrique vertical .....	12
II.5.1. Fondation.....	12
II.5.2. Chambre de radiation.....	13
II.5.3. Chambre de convection.....	13
II.5.4. Cheminée.....	14
II.5.5. Accessoires.....	14
II.6. Procédure de montage des torches.....	14
II.7. Procédure de montage pour pont roulant.....	14
II.8. Procédure de montage pour équipements anti-incendie.....	15
II.9. Montage d'un package (SKID) .....	15
II.10. Contrôle qualité.....	15

### Chapitre III : Erreurs d'installation des équipements pétrolières statiques

<b>III. Erreurs d'installation des équipements pétrolières statiques.....</b>	<b>17</b>
III.1. Introduction .....	17
III.2. Erreurs matérielles pendant l'installation des équipements statiques.....	17
III.2.1. Au bureau d'études .....	17
III.2.2. À l'atelier .....	17
III.2.3. Au chantier .....	18
III.3. Ignorance.....	19
III.3.1. Au niveau du projet.....	19
III.3.2. Au niveau de l'exécution .....	19
III.3.3. Au niveau du montage .....	19
III.4. Facteurs externes.....	19
III.4.1. Poussière ou sable .....	19
III.4.2. Vent.....	19
III.4.3. Température.....	20
III.5. Erreurs d'exécution.....	20
III.5.1. Mauvais choix du matériau.....	20
III.5.2. Mode d'assemblage .....	20
III.6. Erreurs de montage.....	20

## Sommaire

---

### Chapitre IV : Calcul de résistance des appareils cylindriques verticaux à la charge de vent

<b>IV. Calcul de résistance des appareils cylindriques verticaux à la charge de vent.....</b>	<b>21</b>
IV.1. Calcul de la poussée de vent.....	21
IV.2. Calcul le moment de vent .....	24
IV.3. Calcul de l'anneau de base .....	24
IV.3.1. La contrainte maximale sur l'anneau de base.....	25
IV.3.2. Détermination de l'épaisseur de l'anneau de base .....	27
IV.4. Calcul de la stabilité de l'appareil contre le renversement.....	28
IV.4.1. Détermination du diamètre et le nombre de boulon d'ancrage si nécessaire ...	28
IV.5. Détermination ( $P_v$ , $M_v$ , $\sigma_{\max}$ , $e_{ab}$ , $\sigma_{\min}$ , $D_{\text{boulons}}$ et boulons d'ancrage) .....	29
IV.6. Simulation et résultats .....	32
IV.6.1. L'organigramme.....	32
IV.6.2. Résultats.....	34
<b>Conclusion.....</b>	<b>38</b>

### Introduction générale

L'installation des équipements statiques (colonnes, ballons, sécheurs, séparateurs...) dépasse largement le cadre de l'assemblage simple et classique. Toutes erreurs ou bien omissions peuvent être la cause des dégâts plus ou moins graves. Quel que soit le volume des travaux à réaliser, le montage des équipements pétroliers statiques comporte plusieurs difficultés, qui sont évidemment amplifiées par l'effet de taille et la nature des techniques à mettre en œuvre

Les opérations de levage et de mise en place des équipements statiques sont la véritable charnière de chantier pétrolier, malheureusement, des erreurs et des omissions peuvent être produites et être la cause des dégâts plus ou moins graves. Ces dégâts ont principalement pour origine : Effet de vent ce phénomène est principalement étudié pour les équipements cylindriques verticaux. On constate qu'une des principales causes actuelles des désordres provient de la mauvaise qualité des études (45% des erreurs).

Le calcul de résistance des appareils cylindriques verticaux à la charge de vent montre l'importance de l'étude météorologique de site d'installation. Erreurs liée aux travaux d'installation (à l'atelier, au cours de montage...). Ces erreurs peuvent être réduites par le contrôle qualité, la garantie d'exécution des installations, suivant les règles de l'art et leur conformité avec les plans et les documents. L'organisation de ce contrôle et la mise en place des moyens correspondants doivent être précoces et opérationnelles dès le début du chantier. La fin du chantier est soit la fin du montage mécanique, soit la fin des essais préliminaires à la mise en route.

- Comment Calcul de résistance des appareils cylindriques verticaux à la charge de vent ?

**I. Introduction à l'installation des équipements pétroliers****I.1. Notions sur les équipements pétroliers****I.1.1. Classification des équipements pétroliers :**

Selon leurs caractéristiques et leur usage il convient de différencier plusieurs types d'équipements pétroliers.

- **L'équipement fixe :**

C'est un équipement qui n'a pas à être déplacé ; il doit être solidement fixé à la fondation comme le cas des colonnes et des séparateurs.

- **L'équipement Roulant :**

C'est un équipement qui risque de se renverser et d'être inutilisable ou de percuter d'autres équipements et de les endommager comme les pots roulants.

- **Les équipements de Stockage :**

C'est un équipement de rangement et de stockage qui risque de s'exploser ou de se déverser.

- **Le matériel Posé :**

Les matériels mobiles dont le poids important représente un danger en cas de déplacement intempestif ou de renversement. Il se classe dans l'une des trois situations précédentes : Il peut tomber, se briser. S'il est connecté, il peut engendrer des risques d'incendie ou d'électrocution.

**I.1.2. Conditions à remplir par un équipement pétrolier :**

Il s'agit d'équipement dont la défaillance mettrait en défaut la protection directe ou indirecte des personnes

- **Maintien des fonctions :**

Il s'agit d'équipement dont la fonction est jugée indispensable et dont la défaillance mettrait en défaut la capacité de celui-ci à pouvoir jouer son rôle à tout moment pendant et après l'événement

- **Sauvegarde des biens :**

Il s'agit d'équipement dont la défaillance conduirait à des pertes économiques jugées inacceptables par le maître d'ouvrage.

### **I.1.3. Exigences de comportement des équipements pétroliers :**

Les exigences de comportement à attribuer aux équipements dépendent de la nature des équipements. Les principales exigences sont les suivantes :

- **Stabilité :**

La stabilité consiste à assurer le non effondrement total ou partiel de l'équipement et son maintien en place ; elle requiert la résistance et la stabilité de ses supports et ancrages, ce qui implique la limitation des déformations globales et ou déplacements d'ensemble.

- **Absence d'interaction :**

Il faut tenir compte de l'interaction sous les effets de proximité structurelle pouvant entraîner des chocs, le risque de chute d'objets sur d'autres...

- **Déformation limitée :**

La limitation des déformations locales et ou globale.

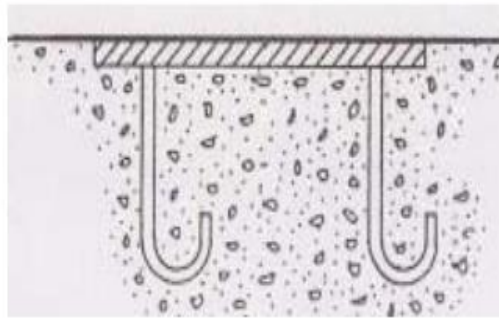
### **I.2. Ancrages et fixations des équipements pétroliers :**

En général, le terme fixation est de portée générale et le terme ancrage s'applique aux fixations dans des pièces ou des équipements en béton. Les ancrages dans le béton concernent les équipements fixés. La résistance nominale d'un ancrage n'est obtenue que si celui-ci peut mobiliser un volume suffisant du béton dans lequel il est fixé et si le ferrailage de ce béton est suffisant pour pouvoir reprendre les efforts des séismes, la poussée de vent... A défaut de justification particulière, la distance effective minimale entre axes d'ancrage, et la distance effective minimale d'implantation d'un ancrage près d'une bordure de génie civil, doivent être prises égales à dix fois le diamètre d'ancrage. Dans ces conditions, on admet que la résistance nominale de l'ancrage est obtenue. [1]

### I.2.1. Système d'ancrage par tige scellée et plaque d'embase :

Ce dispositif est constitué de tiges scellées dans le béton et reprises en leur extrémité supérieure sur une plaque ou un élément appartenant à l'équipement au moyen d'écrous ou par soudage. Il peut être mis en place soit dans le coffrage avant coulage du béton, soit scellé dans une réservation après bétonnage.

La longueur des tiges, doit être suffisante, est déterminée par les codes de béton armé pour assurer leur ancrage sous les efforts spécifiés. Elles peuvent être droites ou courbes ; dans ce dernier cas, il faut s'assurer qu'il n'y a pas risque d'endommagement local du béton soumis à la compression.



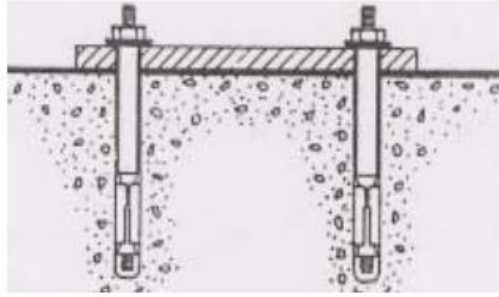
**Figure I.1:** Ancrage par tige scellée et plaque d'embase.

### I.2.2. Système d'ancrage par cheville à expansion :

Ce système est composé d'une plaque ou d'un élément appartenant à l'équipement et plusieurs chevilles de fixation en acier placées dans des trous perforés dans le béton et ancrés par expansion.

Les normes donnent une méthodologie de réalisation des essais statiques et de détermination des charges limites, nominal et ultime.

Ces charges limites sont les charges que les systèmes d'ancrage peuvent reprendre en garantissant le concepteur d'une sécurité suffisante, sous réserve que la mise en œuvre respecte les procédures prévues par le fabricant.



**Figure I.2 :** Ancrage par cheville à expansion.

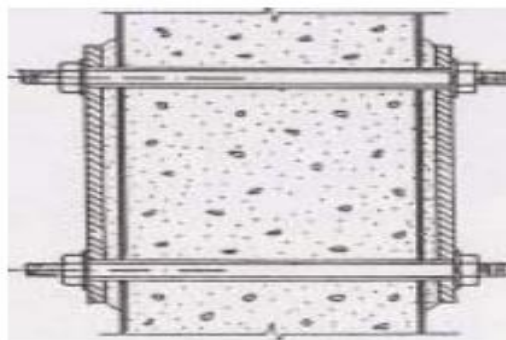
### **I.2.3. Système d'ancrage par tiges précontraintes traversantes :**

Ce type d'ancrage est constitué de tiges filetées traversant une fondation. Les tiges sont précontraintes par l'intermédiaire d'un écrou venant en appui sur des platines situées de part et d'autre de la fondation.

Les équipements viennent se reprendre sur les platines par l'intermédiaire d'une contreplaque. La résistance à l'effort tranchant est reprise par le seul frottement ; il n'est pas autorisé de tenir compte de la résistance au cisaillement des boulons.

Les tiges de précontraintes et les plaques d'appui sont dimensionnées de sorte que :

- la contrainte de compression dans le béton soit admissible,
- le béton sous les plaques d'ancrage reste comprimé dans tous les cas de chargement, y compris le séisme.



**Figure I.3 :** Ancrage par tiges précontraintes traversantes.

**I.3. Les appareils d'installation des équipements pétroliers :****I.3.1. Les appareils de levage :****I.3.1.1. Différents types d'appareils de levage :****I.3.1.1.1. Levage suspendu :**

La charge levée est maintenue au moyen d'un crochet ou d'un outil de préhension suspendu à un câble ou à un équipement. Le centre de gravité de cette charge s'aligne verticalement avec le point de suspension placé sur l'équipement rigide de l'appareil de levage.

**I.3.1.1.2. Levage porté :**

La charge repose sur un ou des supports. Elle est maintenue de façon rigide et suivant une orientation fixe par rapport à l'équipement de l'appareil de levage sur des fourches, un plateau... Des mouvements relatifs de l'équipement, d'amplitude limitée, permettent de modifier légèrement cette orientation. La charge est prise par dessous et reposée à l'endroit souhaité de la même façon. [2]

**I.3.1.2. Caractéristiques des appareils de levages :**

Les appareils de levage peuvent être fixes, démontables, déplaçables ou mobiles avec, dans chaque cas, des niveaux relatifs de mobilité parfois très différents.

**I.3.1.2.1. Appareils fixes :**

Ces appareils sont installés de façon définitive dans des structures stables, elles mêmes fixes et définitives. On peut citer : Tables et plates-formes élévatrices de quai, échafaudages suspendus, rampes ajustables de quai, potences... [3]

**I.3.1.2.2. Appareils déplaçables :**

Ces appareils travaillent à poste fixe. Certains sont équipés d'éléments qui permettent leur déplacement d'un lieu de travail à un autre, soit avec un moyen de manutention extérieur à eux-mêmes (petits palans, échafaudages suspendus...), soit par des systèmes de roulements qui leur sont propres, mais souvent rudimentaires (potences mobiles d'atelier, échafaudages mobiles...). Certains de plus grandes dimensions peuvent être transportés sur des remorques surbaissées (grues repliables non remorquables...).

**I.3.1.2.3.Appareils démontables :**

Ces appareils travaillent à poste fixe. Des aménagements plus ou moins importants de leur lieu de travail sont nécessaires à leur installation. Ils sont généralement transportés par éléments modulaires séparés d'un lieu de travail à un autre et remontés (grues à tour, monte-matériaux...). [4]

**I.3.1.2.4. Appareils mobiles :**

Ces appareils peuvent se déplacer en charge par leurs propres moyens (automoteurs) ou avec une source d'énergie extérieure. Les déplacements se font pour certains sur des distances réduites et limitées soit par les infrastructures dans lesquelles ils sont installés, soit par les contraintes de distribution d'énergie électrique: Cas des ponts roulants, monorails... , et pour d'autres librement, lorsque les appareils ont une source d'énergie indépendante (moteur thermique) et ne sont pas limités par les infrastructures locales (sur pneus ou chenilles) : Cas des grues mobiles, grues auxiliaires sur camion, chariots élévateurs...Quelques-uns, sans source d'énergie pour leur translation, peuvent être remorqués, telles certaines grues repliables.... [3]

**II. Installation des équipements pétroliers statiques****II.1. Préparation avant montage :**

Avant toute opération de montage, vérifier l'état de l'appareil et les accessoires de levage, il sera procéder à un contrôle complet de l'équipement à installer afin de vérifier qu'aucune détérioration n'a été occasionnée pendant le magasinage sur chantier et à la vérification des points suivants:

- Le tonnage exact de l'équipement sur la plaque signalétique, afin de choisir les conditions de levage de la grue (rayon d'action, capacité flèche, angle d'inclinaison).
- Plans et instruction du fournisseur concernant la mise en place de l'équipement en question.
- Emplacement, dimensions, longueur des boulons d'ancrage...
- Position et dimensions de la fondation de l'équipement.
- Méthode d'installation et de transport sur le chantier (procédure de montage).

**II.2. Précautions avant montage**

- L'équipement doit être levé par les oreilles de levage prévu à cet effet. Des précautions doivent être prises pour éviter toute détérioration éventuelle de la fondation pendant l'opération de pose.
- L'équipement posé sur la fondation sera provisoirement supporté adéquatement par des câbles de retenue ou par autre moyen pour éviter tout renversement éventuel de ce dernier (cas des colonnes) jusqu'à ce que le boulonnage soit terminé.
- Pour les équipements horizontaux, on prêtera une attention particulière à ce que les trous de fixation de l'équipement coïncideront avec les boulons d'ancrage de la fondation.
- L'installation sera effectuée avec précision dans la position indiquée et selon l'angle et l'orientation prévus dans le plan.
- Toutes les ouvertures, telles que tuyère, trous d'homme et autres, seront fermées par un moyen approprié.

**II.3. Mise à niveau et verticalité:**

On procédera à mise à niveau et a la verticalité des ces équipements comme suite:

**II.3.1. Equipements horizontaux :**

Des pièces de calage seront installées de niveau a proximité des boulons d'ancrage.

- Tolérance :
  - Elévation : Un point de chaque assise doit se trouver à l'élévation spécifiée par le plan de montage.
  - Horizontalité : Assurer la planéité suivant les tolérances du plan de montage.
- Pour permettre la dilatation thermique, les écrous des boulons d'ancrage côté recouvrement seront desserres.

**II.3.2. Equipements verticaux**

- Les pièces de calage devraient être placées de manière à ce que l'équipement soit de niveau conformément au plan et aux tolérances données. Elles devraient être également espacées et placées près des boulons d'ancrage avant la pose de l'équipement.
- La mise à niveau et la verticalité doivent être effectuées à l'aide des pièces de calage disposées dans deux directions au plus à 90°.
- Tolérances :
  - Elévation : Un point de chaque assise doit se trouver à l'élévation spécifiée par le plan avec une tolérance bien déterminée selon spécification technique.
  - Verticalité : L'axe de l'équipement doit être aligné avec la perpendiculaire selon les tolérances admissibles.
- Une fois que le réglage est terminé, les pièces de calage seront soudées ensemble pour former une seule pièce. Elles ne doivent toutefois pas être soudées aux assises des équipements



**Figure II.1.:** Montage d'une colonne de fractionnement.

La verticalité des équipements de 20 m de haut ou plus sera effectuée avant l'aube ou par temps nuageux pour éviter toute déformation due aux conditions climatiques.

#### **II.4. Procédure de montage des plateaux pour colonne :**

Cette procédure décrit tous les travaux de montage des plateaux équipant les colonnes.

##### **II.4.1. Préparation :**

- Tout le matériel à utiliser sera préparé au préalable.
- L'aire où l'on soulèvera les plateaux à monter sera pourvue de cordages et d'un panneau de signalisation.
- Les aires réservées pour déballage, contrôle et stockage des pièces constituant les plateaux seront judicieusement choisies compte tenu des autres travaux en cours ou prévus à proximité.

- La colonne sera intérieurement pourvue de projecteurs ou de baladeuses antidéflagrants.
- Avant de commencer le nettoyage, on mettra des bouchons appropriés sur les tubulures de fond de la colonne.
- On mettra des échafaudages si nécessaire, pour le montage des plateaux.
- Le fond de la colonne sera pourvu d'une protection appropriée pour éviter que toute chute d'objets n'endommage l'intérieur de la colonne et ses éléments internes.

#### **II.4.2. Vérification à effectuer avant montage :**

Il conviendra de procéder à une vérification visuelle de la colonne, des plateaux et de leurs éléments internes avant de commencer les travaux de montage.

- **Vérification de l'absence d'ovalisations :**

Au fur et à mesure que l'on mettra en place les plateaux, il faut s'assurer que chaque section de virole est exempte d'ovalisations et enregistrera les résultats des vérifications.

- **Niveau des couronnes supportant les plateaux et écartement entre eux :**

Au fur et à mesure que l'on mettra en place les plateaux, il faut s'assurer du niveau des couronnes supportant les plateaux et écartement entre eux, on enregistrera les résultats des vérifications.

- **Supports de déversoir :**

L'orientation, l'élévation, l'écart d'élévation entre l'extrémité d'un côté et celle de l'autre des supports de déversoir ainsi que l'alignement des trous de fixation des boulons seront vérifiés.

- **Pièces des plateaux :**

Vérification de l'état, le nombre, les formes et dimensions principales de chaque plateau et des pièces.

#### **II.4.3. Montage de plateaux:**

On règle générale, les plateaux seront montés l'un après l'autre en commençant par le plus bas. Le constructeur procédera au montage des plateaux dans l'ordre conforme à la spécification du fournisseur.

- **Poutres principales :**

Montage des poutres principales, suivant les tolérances du fournisseur.

- **déversoirs :**

Montage des déversoirs suivant les tolérances du fournisseur.

- **Barrage de déversoirs :**

Montage des barrages de déversoir suivant les tolérances du fournisseur.

- **Assemblage des panneaux :**

- Ordre d'assemblage : Le constructeur assemblera les panneaux pour chaque passe de plateau dans l'ordre et suivant la spécification du fournisseur.
- Contrôle du niveau des panneaux de plateau : Le niveau des panneaux de plateau seront contrôlés, les valeurs relevées seront enregistrés.

- **Travaux après montages des palataux :**

- Nettoyage : Après montage, tous les plateaux et le fond de la colonne seront nettoyés.
- Contrôle définitif
- Fermeture des trous d'homme : Toutes les trappes de visites et trous d'homme seront fermés après le contrôle définitif.

## **II.5. Procédure de montage d'un four cylindrique vertical :**

### **II.5.1. Fondation :**

- Vérification et contrôle de la fondation et des boulons d'ancrage.
- Mise en place des cales d'épaisseur conformément à la spécification.
- Les boulons d'ancrage doivent être scellés et contrôlés au préalable.
- Mise en place des cales d'épaisseur selon spécification technique.
- Après la pose du poteau du four sur les plaques d'assise, procéder à son alignement en agissant sur les cales d'épaisseur.
- Vérifier la verticalité des poteaux aussi que l'écartement entre elles. [5]

### II.5.2. Chambre de radiation :

Il est à préciser que la chambre de radiation est généralement livrée sur site soit en une seule pièce ou bien en plusieurs éléments qui seront ensuite assemblés et boulonnés sur le lieu d'installation.

En cas où la chambre de radiation est livrée en plusieurs éléments, l'ordre de montage est comme suit. Le soulèvement et le positionnement des sections (panneaux) suivantes :

a - Section  $270^\circ / 315^\circ$

b - Section  $315^\circ / 0^\circ$

c - Section  $0^\circ / 45^\circ$

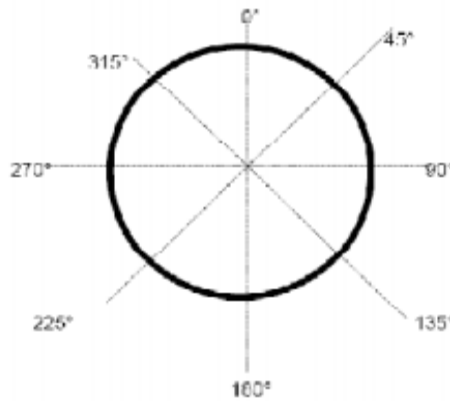
d - Section  $45^\circ / 90^\circ$

e - Section  $180^\circ / 225^\circ$

f - Section  $225^\circ / 270^\circ$

g - Section  $180^\circ / 135^\circ$

h - Section  $135^\circ / 90^\circ$



**Figure II.2:** l'ordre de montage d'une chambre de radiation livrée en plusieurs éléments.

- L'assemblage se fera par boulonnage en position vertical entre les différentes sections conformément aux plans d'exécution.
- Levage et mise en place des serpentins, selon plans et instructions.
- Soudage éventuel des serpentins selon spécification.
- Radiographie éventuel selon instructions.
- Test hydrostatique éventuel des serpentins.

### II.5.3. Chambre de convection :

La chambre de convection sera généralement livrée en une seule pièce, il suffira d'effectuer son montage à l'aide d'une grue appropriée. Elle sera posée et fixée à la chambre de radiation selon les instructions du fournisseur.

**II.5.4. Cheminée :**

La cheminée est livrée généralement en plusieurs parties, il s'agira de les assembler en une seule pièce au sol ou les monter une à une à l'aide d'une grue appropriée. Elle ne sera montée qu'après coulage du mortier réfractaire à l'intérieur et qui se fera en position horizontale, en suite, posée et fixée pourvue de leurs accessoires tels que : (plates-formes, échelles...) sur la chambre de convection. Le mode de montage sera déterminé selon la situation de site.

**II.5.5. Accessoires :**

- Montage des tuyauteries.
- Montage des brûleurs.
- Pose briques réfractaires.
- Système de ventilation.

**II.6. Procédure de montage des torches :**

Cette spécification décrit les modalités d'exécution des travaux d'installation et raccordement des torches. Ces travaux d'installation seront exécutés conformément aux plans et instructions du fournisseur. Le travail consiste principalement dans :

- Vérification et contrôle des fondations.
- Assemblage des éléments de la torche (fond de torche ; joint gazo statique et nez de torche).
- Contrôle des axes selon plans.
- Levage et mise en place de la torche.
- Réglage de la verticalité de la torche.
- Serrage des boulons d'ancrage.
- Mise en place échelles, plates-formes, passerelles.
- Les accessoires tels que : plates-formes, passerelles... Seront assemblés au sol et montés directement sur la torche.

**II.7. Procédure de montage pout pont roulant :**

Les travaux d'installation seront exécutés conformément aux plans et spécification technique du fournisseur. Le travail consiste principalement :

- Réception des chemins de roulements.
- Vérification de niveau.
- Vérification de l'alignement des rails
- Pose du pont-roulant sur les rails.
- Montage accessoires du pont-roulant

**II.8. Procédure de montage pour équipements anti-incendie :**

Le travail consiste principalement dans l'installation et la disposition de ces équipements dans les différentes zones du site, conformément aux plans. Ces équipements sont :

- Extincteurs portatifs.
- Extincteurs sur chariot.
- Emulseurs.
- Lance monitors.
- Réservoir à mousse.
- Groupe diesel incendie

**II.9. Montage d'un package (SKID) :**

Les travaux d'installation seront exécutés conformément aux plans et spécifications technique du fournisseur. Le travail consiste principalement dans :

- Contrôle des niveaux et axes des fondations avant la pose du skid.
- Prélèvement et transport du skid de la zone de stockage au lieu d'installation.
- Pose du skid sur la fondation.
- Contrôle du niveau et des axes.
- Serrage des boulons du skid.
- Vérification de l'alignement.
- Raccordement du skid selon les plans.

**II.10. Contrôle qualité :**

Le contrôle qualité doit viser à garantir l'exécution des installations suivant les règles de l'art et leur conformité avec les plans et les documents. L'organisation de ce contrôle et la mise en place des moyens correspondants doivent être précoces et opérationnelles dès le début du chantier. Le regroupement de ces activités dans le groupe technique assure l'indépendance

indispensable vis-à-vis de l'exécution des installations et un accès facile aux plans et documents.

Le contrôle qualité fait intervenir en premier lieu l'entreprise chargée de la réalisation des travaux. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, l'entreprise vise en regard de chaque phase de contrôle.

L'étape suivante fait intervenir les équipes de contrôle du maître d'œuvre. Pour certaines phases, les contrôles de l'entreprise et de l'ingénierie se font en même temps (verticalité des colonnes...). Pour d'autres, elles sont différées dans le temps (implantation d'un massif béton). Le contrôle de l'ingénierie peut être effectué simplement par sondage si les risques encourus sont faibles (serrage des boulons haute résistance si le cisaillement est pris en compte dans le calcul en plus de la friction).

Les représentants des fournisseurs, généralement gérés par l'ingénierie, définissent et effectuent les contrôles concernant leur matériel.

La fin du chantier est soit la fin du montage mécanique, soit la fin des essais préliminaires à la mise en route. Les équipes intervenant lors de ce contrôle final sont :

- les équipes de supervision de l'ingénierie et du maître d'ouvrage ; ce dernier intervient généralement plus activement à ce stade que dans le passé en détachant sur le site des équipes d'exploitants d'unités similaires.
- les équipes de mise en route de l'ingénierie et/ou du maître d'œuvre ; celles-ci induisent généralement des modifications relatives à la conduite des opérations même si les installations sont conformes.
- les équipes des futurs exploitants ; elles peuvent engendrer des modifications propres à l'exploitation tel que l'orientation des vannes...
- les représentants du bailleur de licence (fournisseur du procédé) ; ils apportent des corrections ou des améliorations qui ont pu être mises au point depuis la cession de la licence.

La compilation et l'analyse de toutes ces remarques n'est pas seulement technique mais aussi contractuelle. Leur traitement demande du temps, d'où l'intérêt de commencer cette procédure le plus rapidement possible. [5]

### III. Erreurs d'installation des équipements pétrolières statiques

#### III.1. Introduction :

Les différents intervenants dans le montage des installations des équipements pétrolières sont: le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise, qui fait les travaux. [6]

Ce nombre des intervenants fait que, malheureusement, des erreurs et omissions peuvent être produites et être la cause des dégâts plus ou moins graves.

Un équipement statique peut être détérioré :

- soit par effondrement total ou partiel sous l'effet de chargement.
- soit par des déformations importantes rendant l'équipement impropre à son exploitation.

Les origines de ces endommagements sont dues principalement à :

- des erreurs de conception : 13 %, dont 3 % de équipements instables.
- des erreurs de bureau d'études : 45 %.
- des erreurs de montage : 35 %, dont la moitié est due à des instabilités provisoires, l'autre moitié se partageant entre malfaçons et fausses manœuvres.
- des erreurs de fabrication.
- des défauts du matériau.

L'analyse des causes d'une détérioration doit se faire en plusieurs étapes :

- examen de l'équipement : Déformations, déchirures, ruptures
- examen des conditions et circonstances au moment du dégât, chargement de l'équipement.

#### III.2. Erreurs matérielles pendant l'installation des équipements statiques

##### III.2.1. Au bureau d'études :

###### ➤ Erreurs de dessin :

Ces erreurs sont de types très variés. Elles vont des erreurs de traits dans les coupes et élévations représentées aux chiffres mal formés, aux lignes de cotes mal implantées. Elles

sont souvent corrigées à l'exécution (traçage) en raison des incompatibilités qu'elles entraînent.

➤ **Fautes de calcul et analogues :**

Ce sont, par exemple, des erreurs d'opération, d'écriture de formules, etc.

➤ **Erreurs de transcription :**

Les valeurs des caractéristiques des matériaux, les hypothèses de site (conditions climatiques, conditions géographiques), de charges d'utilisation.

Les conséquences des deux derniers types sont souvent plus graves que les erreurs de dessin, car elles peuvent donner l'illusion d'une sécurité qui n'est pas atteinte en réalité (contraintes minimisées...). [7]

### III.2.2. À l'atelier :

➤ **Erreur sur le choix des matériaux :**

Les différences de qualité ou de nuance des aciers ne correspondent pas à des aspects physiques différents. Il peut donc se produire des confusions involontaires dans les matériaux utilisés s'ils ne font pas l'objet d'un marquage ou si les consignes de classement ne sont pas rigoureusement appliquées dans les parcs à matières ou les magasins.

Ces erreurs risquent alors de conduire à des diminutions importantes des coefficients de sécurité et par conséquent d'aboutir à des dégâts graves.

➤ **Erreur d'échantillonnage :**

Ces erreurs sont relativement rares. Elles se produisent principalement lors de l'utilisation de profils creux présentant des variations d'épaisseur pour les mêmes dimensions extérieures. Dans ces cas, les diminutions des coefficients de sécurité sont plus faibles que dans le cas précédent en raison des faibles variations des caractéristiques dimensionnelles.

### III.2.3. Au chantier :

- Erreur d'identification des pièces à monter due à des dimensions très voisines difficilement différenciables
- Erreur dans le sens de montage d'une pièce

- Erreur de classe de boulons

### III.3. Ignorance

Le défaut de connaissance total ou partiel reste la cause la plus fréquente des désordres. La méconnaissance des effets des actions sur les équipements entraîne des conséquences qui peuvent être graves sur leur tenue.

#### III.3.1. Au niveau du projet :

- Absence ou insuffisance du cahier des charges.
- Méconnaissance des règlements.
- Erreurs sur le comportement, sous l'effet des actions en service, d'un matériau, d'un type d'équipement, du sol de fondation.

#### III.3.2. Au niveau de l'exécution :

- l'existence des défauts cachés dans les matériaux
- les conséquences imprévues de la mise en œuvre des matériaux

#### III.3.3. Au niveau du montage :

- Manque de coordination entre les intervenants
- Méconnaissance de la mise en œuvre
- Méconnaissance des impératifs de montage

### III.4. Facteurs externes

#### III.4.1. Poussière ou sable :

Des effondrements de l'équipement se sont produits dans des sites d'exploitation de produits pulvérulents. Le manque d'entretien des toitures avait permis l'accumulation lente de poussières dont le poids atteignait, avec le temps, des valeurs importantes. Des dépôts de sable porté par le vent ont eu des effets similaires dans les régions désertiques.

#### III.4.2. Vent :

- **orientation des structures :**

Il est préférable, quand cela est possible, de prévoir les grandes ouvertures de façade de telle

Sorte qu'elles ne soient pas exposées aux vents dominants.

### **III.4.3. Température**

- **Dilatation :**

Les variations de température provoquant la dilatation ou le retrait des éléments métalliques peuvent conduire à des désordres ou à des instabilités dans le cas des équipements bloqués, sans joints permettant les mouvements. Les joints doivent aussi être étudiés en fonction de types acier.

- **Froid :**

La résilience de l'acier diminue avec la température. Au-dessous de la température de transition, le métal devient particulièrement fragile. Les désordres dus à ce phénomène peuvent se produire surtout dans les régions climatiques rigoureuses et touchent plus particulièrement les éléments soumis à la fatigue, tels que les assemblages. [7]

### **III.5. Erreurs d'exécution**

#### **III.5.1. Mauvais choix du matériau**

Il peut arriver que des désordres soient dus à l'utilisation d'un matériau non adapté aux conditions d'exploitation. Beaucoup de dégâts sont à déplorer, dans ce cadre, avec l'utilisation d'aciers inadaptés aux conditions de construction.

#### **III.5.2. Mode d'assemblage :**

- Boulons ordinaires
- Défauts des soudures

### **III.6. Erreurs de montage**

- Mauvaise manutention des équipements ou de ses accessoires.
- Instabilité en cours de montage
- Absence de tiges de retenue d'ancrage
- Levage à plusieurs grues
- Ordre de montage entraînant une instabilité temporaire
- Pièces ou équipements déformés avant montage

#### IV. Calcul de résistance des appareils cylindriques verticaux à la charge de vent

Pour les appareils verticaux, la charge due aux vents est assez importante

Le calcul comprend :

- Calcul de la poussée de vent.
- Calcul le moment de vent.
- Calcul de l'anneau de base :
  - La contrainte maximale sur l'anneau de base
  - Détermination de l'épaisseur de l'anneaux de base.
- Calcul de la stabilité de l'appareil contre le renversement
  - détermination du diamètre et le nombre de boulon d'ancrage si nécessaire

##### IV.1. Calcul de la poussée de vent :

La poussée de vent peut être donnée par la formule suivante :

$$P_v = K. \beta. q. S \quad (IV.1)$$

S : la surface de l'équipement face au vent.

$$S = D.H + 20\%(D.H) \quad (IV.2)$$

D : Le diamètre de l'équipement

H : l'hauteur de l'équipement

K : Coefficient aérodynamique de résistance de surface face au vent, il dépend de la nature de l'écoulement (du régime d'écoulement,  $K=f(Re)$ )

Le tableau suivant donne quelques valeurs de K en fonction de nombre de Reynolds.

**Tableau IV.1:** Valeurs de coefficient aérodynamique de résistance de surface en fonction de Reynolds.

<b>Re (10<sup>6</sup>)</b>	0,15	0,40	1,00	1,50	2,00
<b>K</b>	1,20	0,45	0,45	0,60	0,60

La poussée spécifique de vent  $q$  est calculée par :

$$q = q_0 \cdot \theta \quad (IV.3)$$

$q_0$ : la poussée spécifique au niveau de sol jusqu'à 10m en hauteur, elle varie entre 270 et 1000[N/m<sup>2</sup>]. Pour les régions sud Algériennes elle est égale à 450 [N/m<sup>2</sup>].

Le coefficient de surcharge  $\theta$  est en fonction de la hauteur  $H$  :

Si  $H \leq 10m$  ;  $\theta=1$ .

Si  $H > 10m$ , les valeurs de coefficient de surcharge sont données en fonction de la hauteur dans le tableau suivant.

**Tableau IV.2:** Quelques valeurs de coefficient de surcharge en fonction de la hauteur  $H$ .

<b>H [m]</b>	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-150
<b><math>\theta</math></b>	1,40	1,80	1,90	2,05	2,20	2,30

Le nombre de Reynolds est donné par :

$$Re = \frac{V \cdot D_e}{V_\alpha} \quad (IV.4)$$

La viscosité cinématique de l'air

$$V_\alpha = 0.146 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

La vitesse de vent :

$$V = 3,3 \cdot \sqrt{q_0 \cdot \theta} \text{ (Norme FRANÇAISE)} \quad (IV.5)$$

$\beta$  : coefficient d'augmentation de la poussée spécifique qui tient compte de l'action dynamique des coups de vent sur l'appareil.

$$\beta = 1 + m \cdot \varepsilon \quad (IV.6)$$

$m$ : le coefficient de pulsations de la poussée de vent qui dépend de la hauteur  $H$  de l'équipement.

**Tableau IV.3:** Quelques valeurs de coefficient de pulsations de la poussée de vent en fonction de la hauteur H.

H[m]	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
m	0,35	0,32	0,28	0,25	0,21

$\varepsilon$  : le coefficient dynamique qui dépend de la période T des oscillations propres de l'équipement.

Si  $T \leq 0,25s$  ;  $\varepsilon = 1$

Si  $T > 0,25s$ . Quelques valeurs de  $\varepsilon$  en fonction de la période des oscillations sont représentées sur le tableau suivant.

**Tableau IV.4:** valeurs de coefficient dynamique en fonction de la période T.

T[s]	0-0,5	0,5-1	1-1,50	1,5-2,75	2,75-4	4-5	5-6
$\varepsilon$	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,10	3,10

Pour un équipement de forme cylindrique vertical, la période T peut être déterminée par la formule suivante :

$$T = 1,79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{Q_{\max} \cdot H}{g \cdot EI}} \quad (IV.7)$$

$Q_{\max}$  : La masse l'équipement avec la charge max

EI: La rigidité à la flexion = module d'élasticité [ $kN/m^2$ ]  $\times$  moment d'inertie [ $m^4/m$ ].

g : La pesanteur.

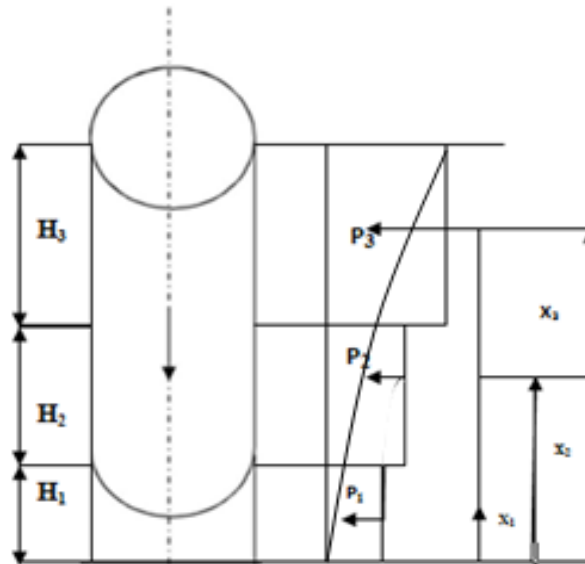
**Remarque:**

Pour tenir compte de la poussée de vent qui exerce sur toute la charpente métallique a savoir (échelles, passerelles, tuyauteries externes), on augmente la surface de calcul de 20% (d'après la norme AFNOR).

**IV.2. Calcul le moment de vent :**

Pour calcule le moment de vent on applique ces méthode, on début deviser l'équipement comme suit :

$$H \geq 10m$$



**Figure IV.1:** les division d'un équipement

$$P_i = K_i \cdot \beta_i \cdot q_i \cdot S_i \tag{IV.8}$$

$$M_v = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 \tag{IV.9}$$

$$X_1 = \frac{H_1}{2} \quad ; \quad X_2 = H_1 + \frac{H_2}{2} \quad ; \quad X_3 = H_1 + H_2 + \frac{H_3}{2}$$

**IV.3. Calcul de l'anneau de base :**

La figure (IV.2) représente les dimensions de l'anneau de base

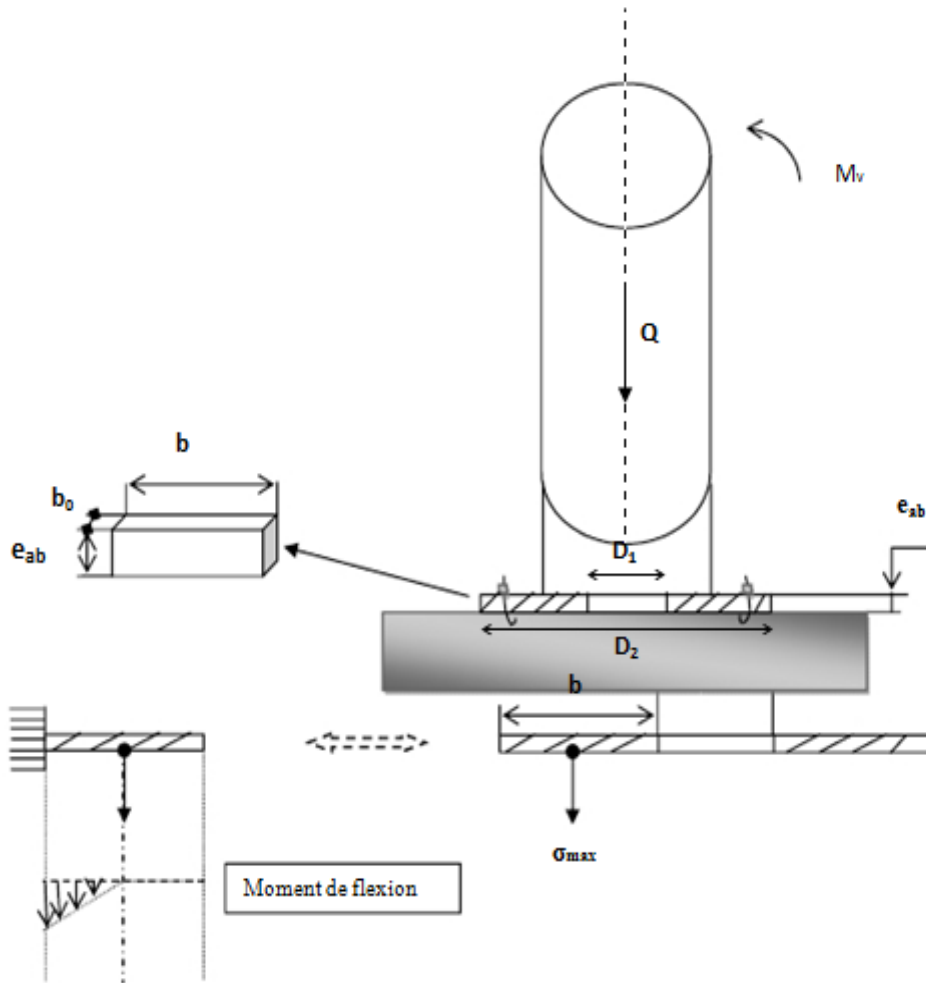


Figure IV.2: les dimensions de l’anneau de base

### IV.3.1. La contrainte maximale sur l’anneau de base:

La contrainte maximale s’applique sur l’anneau de base de l’appareil statique. Celui-ci est soumis à une sollicitation composée de compression et de flexion.

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{compression}} + \sigma_{\text{flexion}} \quad (\text{IV.10})$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{ab}} + \frac{M_v}{W_{ab}} \quad (\text{IV.11})$$

Tel que :

$S_{ab}$  : La surface d’appuis de l’anneau de base.

$$S_{ab} = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \quad (\text{IV.12})$$

$W_{ab}$ : Module de flexion de l'anneau de base.

$$W_{ab} = \frac{\pi(D_2^4 - D_1^4)}{64 D_2/2} \quad (IV.13)$$

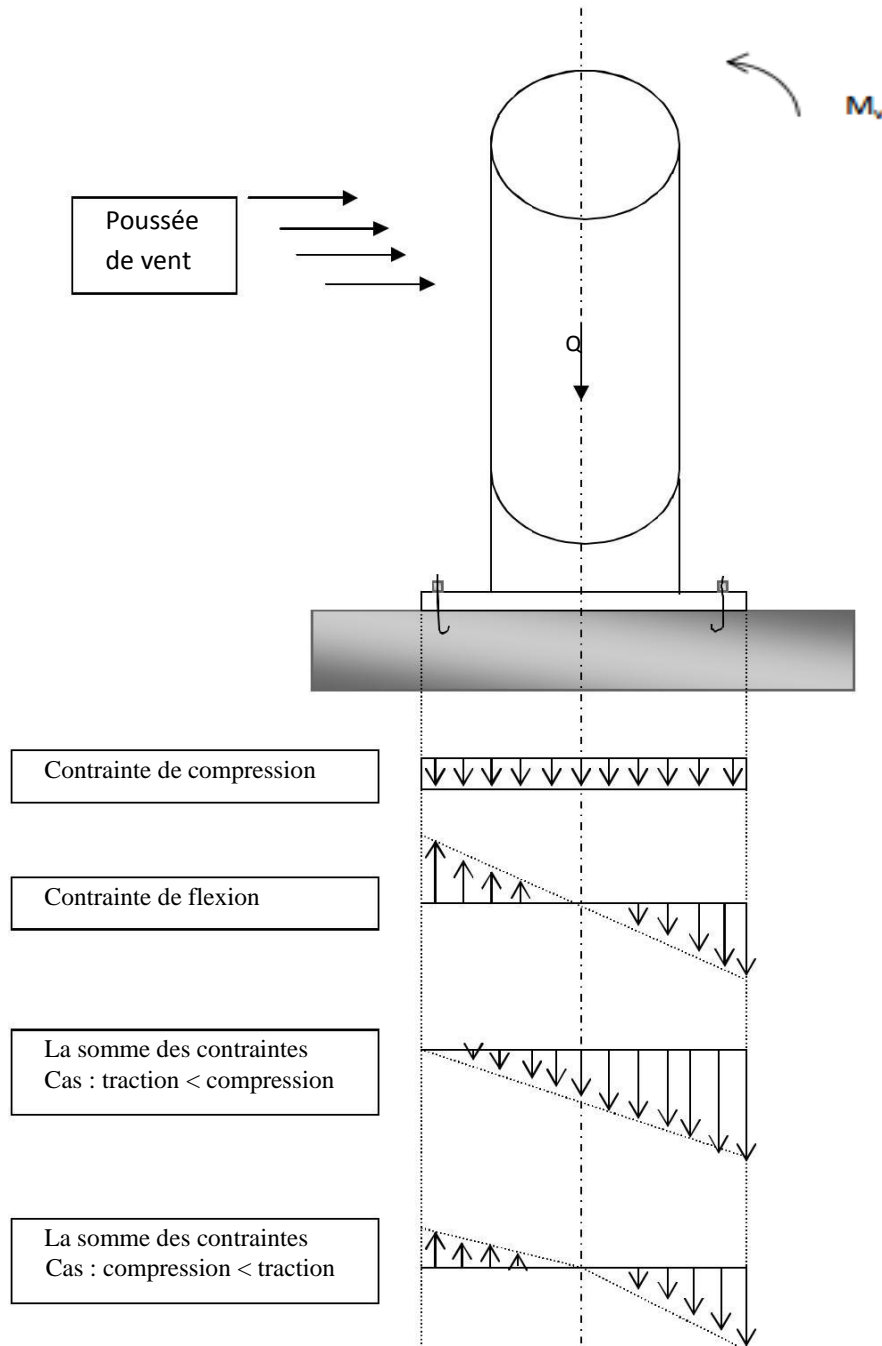


Figure IV.3 : La contrainte maximale sur l'anneau de base

### IV.3.2. Détermination de l'épaisseur de l'anneau de base :

L'anneau de base est soumis aux efforts de flexion. Le moment de ces efforts est donné par :

$$M_{fl} = q \cdot b/2 \quad (IV.14)$$

$$q = \sigma_{\max} \cdot b b_0 \quad (IV.15)$$

$$\sigma_{fl} = \frac{M_{fl}}{w} \quad (IV.16)$$

$$w = \frac{b_0 \cdot e_{ab}^2}{\sigma} \quad (IV.17)$$

$$\sigma_{fl} = \frac{q \cdot b/2}{b_0 \cdot e_{ab}^2} = \frac{\sigma_{\max} \cdot b b_0 \cdot b/2}{b_0 \cdot e_{ab}^2 / \sigma} \quad (IV.18)$$

$$\sigma_{fl} = \frac{3 \cdot \sigma_{\max} \cdot b^2}{e_{ab}^2} \quad (IV.19)$$

La condition de résistance à la flexion de l'anneau de base :

$$\frac{3 \cdot \sigma_{\max} \cdot b^2}{e_{ab}^2} \leq [\sigma]_{fl} \quad (IV.20)$$

$[\sigma]_{fl}$  : résistance du matériau de l'anneau de base

L'épaisseur minimale de l'anneau de base :

$$e_{ab} = 1,73 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{[\sigma]_{fl}}} \quad (IV.21)$$

#### Remarque :

Pour tenir compte de la corrosion atmosphérique on ajoute une surépaisseur de corrosion (1-2) mm. [8]

**IV.4. Calcul de la stabilité de l'appareil contre le renversement:**

$$\sigma_{\min} = \frac{Q_{\min}}{S_{ab}} - \frac{M_v}{W_{ab}} \quad (\text{cas le plus dangereux, l'appareil et vide.})$$

- $\sigma_{\min} > 0 :$

$$\frac{Q_{\min}}{S_{ab}} > \frac{M_v}{W_{ab}} \quad (\text{équipement stable pas nécessaire d'ancrer l'équipement.})$$

- $\sigma_{\min} < 0 :$

$$\frac{M_v}{W_{ab}} > \frac{Q_{\min}}{S_{ab}} \quad (\text{équipement instable nécessaire d'ancrer l'équipement.})$$

- $\sigma_{\min} = 0 :$  (équilibre théorique.)

**IV.4.1. Détermination du diamètre et le nombre de boulon d'ancrage si nécessaire :**

- cas  $\sigma_{\min} < 0 :$

$$P = \sigma_{\min} \cdot S_{ab} \quad (\text{charge totale sur l'anneau de base.})$$

$$\text{Sur } n \text{ boulons :} \quad \left( P_{\text{boulon}} = \frac{P}{n} \text{ (n: nombre de boulons)} \right)$$

$$\sigma_{\text{boulon}} = \frac{P_{\text{boulon}}}{S_{\text{boulon}}} \leq [\sigma] \quad (\text{pour le de boulon})$$

$$S_{\text{boulon}} = \frac{P_{\text{boulon}}}{[\sigma]} \Rightarrow \frac{\pi d^2 b}{4} = \frac{P_{\text{boulon}}}{[\sigma]}$$

$$d_b = \sqrt{\frac{P_{\text{boulon}}}{0.785 \cdot [\sigma]}}$$

**Recommandation du boulons :**

$$p = [4 \quad 12] \text{ [boulons]}$$

$$b = [20 \quad 60] \text{ [mm]}$$

#### IV.5.Détermination ( $P_v$ , $M_v$ , $\sigma_{\max}$ , $e_{ab}$ , $\sigma_{\min}$ , $D_{\text{boulons}}$ et boulons d'ancrage)

L'hauteur de l'équipement statique varie [0 à 100m] dans cette partie on choisi une hauteur Appartient à cette intervalle et calculé ( $P_v$ ,  $M_v$ ,  $\sigma_{\max}$ ,  $e_{ab}$ ,  $\sigma_{\min}$ ,  $D_{\text{boulons}}$  et boulons d'ancrage)

**Tableau IV.5:** Les données de calcul

Données	Valeur	Unité
La viscosité cinématique de l'air $\nu$	$0.146.10^{-4}$	[m <sup>2</sup> /s]
la poussée spécifique au niveau de sol $q_0$	450	[N/m <sup>2</sup> ]
La contrainte admissible a la flexion $[\sigma]$	121	[MPa]
La masse l'équipement avec la charge max Q	$14.10^5$	[kg]
La masse l'équipement avec la charge min Q	$11.10^5$	[kg]
La pesanteur g	9.81	[m/s <sup>2</sup> ]
Le diamètre extérieur de l'équipement $D_e$	2.6	[m]
Le diamètre $D_1$	1.6	[m]
Le diamètre $D_2$	4	[m]
La Longueur b	0.7	[m]

- Pour H=20,7m

On divise la colonne a deux partie  $H_1=10\text{m}$  ;  $H_2=10,7\text{m}$

$H_1=10\text{ m}$  :

- Calcul la poussé de vent  $P_1$  :

$$P_1 = K_1 \cdot \beta_1 \cdot q_1 \cdot S_1$$

- $K_1=f(\text{Re})$  ;  $\text{Re}=\frac{V_1 \cdot D_e}{V_\alpha}$

$$V_1 = 3,3 \cdot \sqrt{q_0 \cdot \theta} \text{ (Norme FRANÇAISE)} ; q_0 = 450 \text{ N/m}^2 = 45 \text{ kg.f/m}^2 , \theta = 1$$

$$V_1 = 3,3 \cdot \sqrt{45 \cdot 1} = 22,13 \text{ m/s}$$

$$Re_1 = \frac{V_1 \cdot D_e}{V_\alpha} = \frac{22,13 \cdot 2,6}{0,146 \cdot 10^{-4}} = 3,94 \cdot 10^6 \rightarrow K_1 = 0,6$$

- $\beta_1 = 1 + m_1 \cdot \varepsilon$

$$T = 1 \text{ s} ; \varepsilon = 1,75 ; m_1 = 0,35 \rightarrow (H = 10 \text{ m})$$

$$\beta_1 = 1 + 0,35 \cdot 1,75 = 1,6125$$

- $q_1 = q_0 \cdot \theta = 450 \cdot 1 = 450 \text{ N/m}^2$
- $S_1 = D_e \cdot H_1 + 20 \% (D_e \cdot H_1) = 2,6 \cdot 10 + 20 \% (2,6 \cdot 10) = 31,2 \text{ m}^2$

$$P_1 = K_1 \cdot \beta_1 \cdot q_1 \cdot S_1 = 0,6 \cdot 1,6125 \cdot 450 \cdot 31,2 = 13583,7 \text{ N}$$

$$P_1 = 13583,7 \text{ N}$$

$H_2 = 10,7 \text{ m} :$

- Calcul la poussée de vent  $p_2 :$

$$P_2 = K_2 \cdot \beta_2 \cdot q_2 \cdot S_2$$

- $K_2 = f(Re) ; Re = \frac{V_2 \cdot D_e}{V_\alpha}$

$$V_2 = 3,3 \cdot \sqrt{q_0 \cdot \theta} \text{ (Norme FRANÇAISE)} ; q_0 = 450 \text{ N/m}^2 = 45 \text{ kg.f/m}^2 , \theta_1 = 1,4$$

$$V_2 = 3,3 \cdot \sqrt{45 \cdot 1,4} = 26,19 \text{ m/s}$$

$$Re_2 \text{ supérieur à } Re_1 \rightarrow K_2 = 0,6$$

- $\beta_2 = 1 + m_2 \cdot \varepsilon$

$$T = 1 \text{ s} ; \varepsilon = 1,75 ; m_2 = 0,35 \rightarrow (H = 10,7 \text{ m})$$

$$\beta_2 = 1 + 0,35 \cdot 1,75 = 1,6125$$

- $q_2 = q_0 \cdot \theta = 450 \cdot 1,4 = 630 \text{ N/m}^2$
- $S_2 = D_e \cdot H_2 + 20 \% (D_e \cdot H_2) = 2,6 \cdot 10,7 + 20 \% (2,6 \cdot 10,7) = 33,39 \text{ m}^2$

$$P_2 = K_2 \cdot \beta_2 \cdot q_2 \cdot S_2 = 0,6 \cdot 1,6125 \cdot 630 \cdot 33,39 = 20352,03 \text{ N}$$

$$P_2 = 20352,03 \text{ N}$$

- Calcul le moment de vent  $M_v$  :

$$M_v = p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2$$

$$X_1 = \frac{H_1}{2} = \frac{10}{2} = 5 ; X_2 = H_1 + \frac{H_2}{2} = 10 + \frac{10,7}{2} = 15,35$$

$$M_v = p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2 = 13583,75 + 20352,03 \cdot 15,35 = 380322,16 \text{ N.m}$$

$$M_v = 380322,16 \text{ N.m}$$

- Calcul la contrainte maximale sur l'anneau de base  $\sigma_{\max}$  :

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{ab}} + \frac{M_v}{W_{ab}}$$

$$S_{ab} = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) = \frac{3,14}{4} ((4)^2 - (1,6)^2) = 10,55 \text{ m}^2$$

$$W_{ab} = \frac{\frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_1^4)}{D_2/2} = \frac{\frac{\pi}{64} ((4)^4 - (1,6)^4)}{2} = 6,12 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S_{ab}} + \frac{M_v}{W_{ab}} = \frac{14 \cdot 10^5}{10,55} + \frac{380322,16}{6,12} = 1,94845 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = 1,94845 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

- Détermination de l'épaisseur de l'anneau de base  $e_{ab}$  :

$$e_{ab} = 1,73 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{fl}}}$$

$$[\sigma]_{fl} = \Phi \cdot [\sigma] = 1,2 \cdot 1210 \cdot 10^5 = 1452 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$e_{ab} = 1,73 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{fl}}} = e_{ab} = 1,73 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1,94845 \cdot 10^5}{1452 \cdot 10^5}} = 0,044 \text{ m} = 44 \text{ mm}$$

$$e_{ab} = e_{ab} + 2 = 46 \text{ mm}$$

- Calcul de la stabilité de l'appareil contre le renversement:

$$\sigma_{\min} = \frac{Q_{\min}}{S_{ab}} - \frac{M_v}{W_{ab}} = \frac{11 \cdot 10^5}{10,55} - \frac{380322,16}{6,12} = 4,2121 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{\min} > 0 \quad (\text{alors l'équipement est stable. on à pas besoin d'ancré l'équipement})$$

**IV.6.Simulation et résultats :**

Dans cette partie. On utilise un programme dans un environnement Matlab. Ce programme sera utilisé pour calculer la résistance des équipements cylindriques statiques verticaux (ballons, colonnes, sécheurs et séparateurs).

**IV.6.1.L'organigramme:**

Une boucle, en fonction de la hauteur des équipements qui peut être variée de 0 jusqu'à 100m pour les grandes colonnes, est utilisée pour le calcul de la poussée et du moment de vent ainsi que pour la détermination de l'épaisseur de l'anneau de base et la stabilité de l'appareil contre le renversement .

Le programme comprend les étapes suivantes :

- ✓ Le coefficient de surcharge  $\theta$  et le coefficient de pulsations de la poussée de vent  $\phi$ .
- ✓ Le calcul de la poussée spécifique de vent, la vitesse de vent et le nombre de Reynolds.
- ✓ Détermination du coefficient aérodynamique de résistance de surface face au vent, de la période  $T$  des oscillations propres de l'équipement et du coefficient d'augmentation de la poussée spécifique  $\beta$ .
- ✓ Calcul de la poussée et du moment de vent.
- ✓ Calcul de la contrainte maximale et minimale de flexion et l'épaisseur de l'anneau de base des équipements statiques.

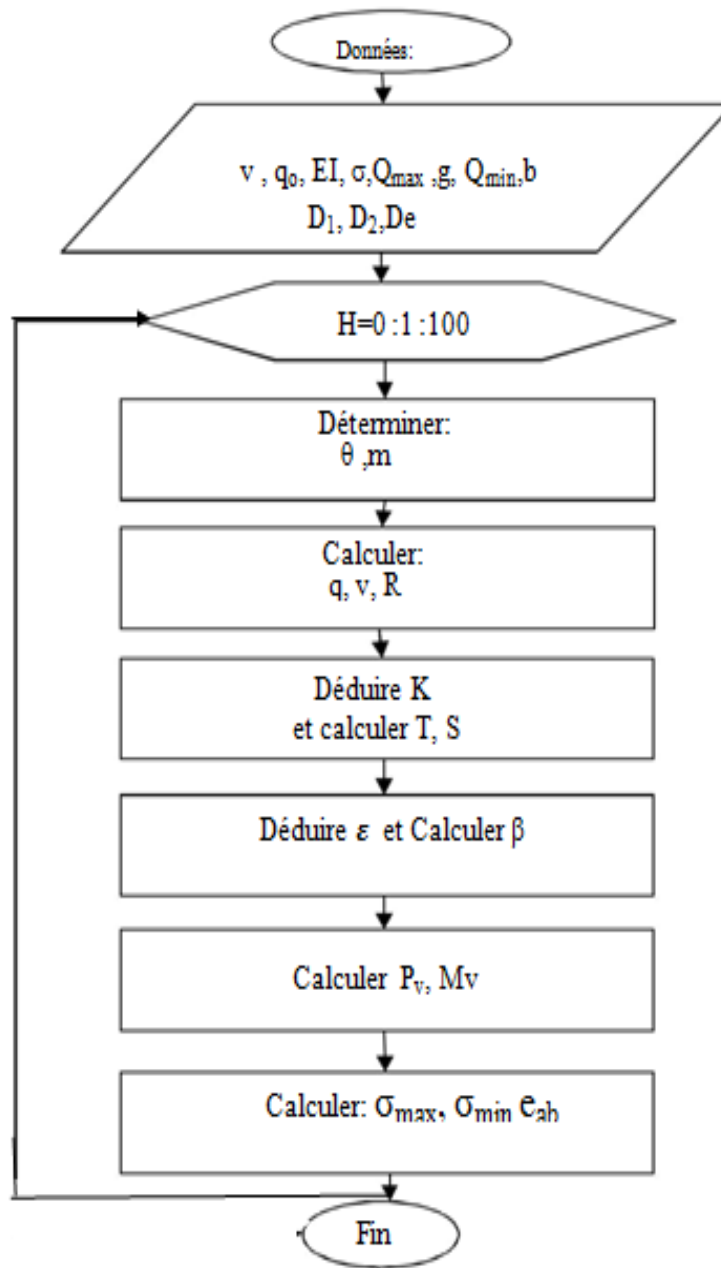
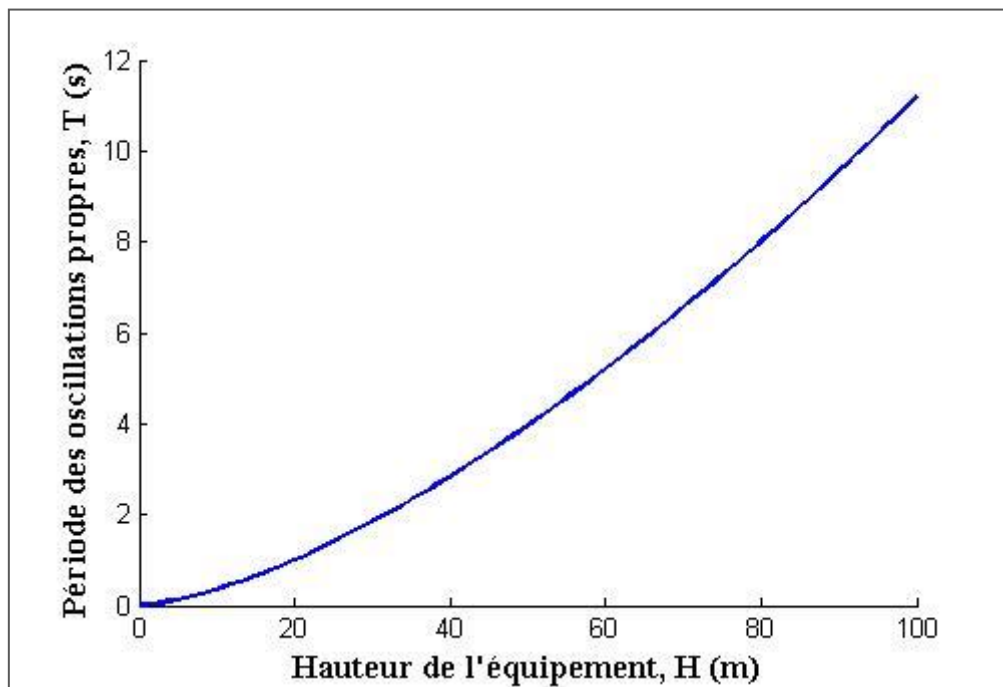


Figure IV.4 : L'organigramme de programme

## IV.6.2.Résultats :

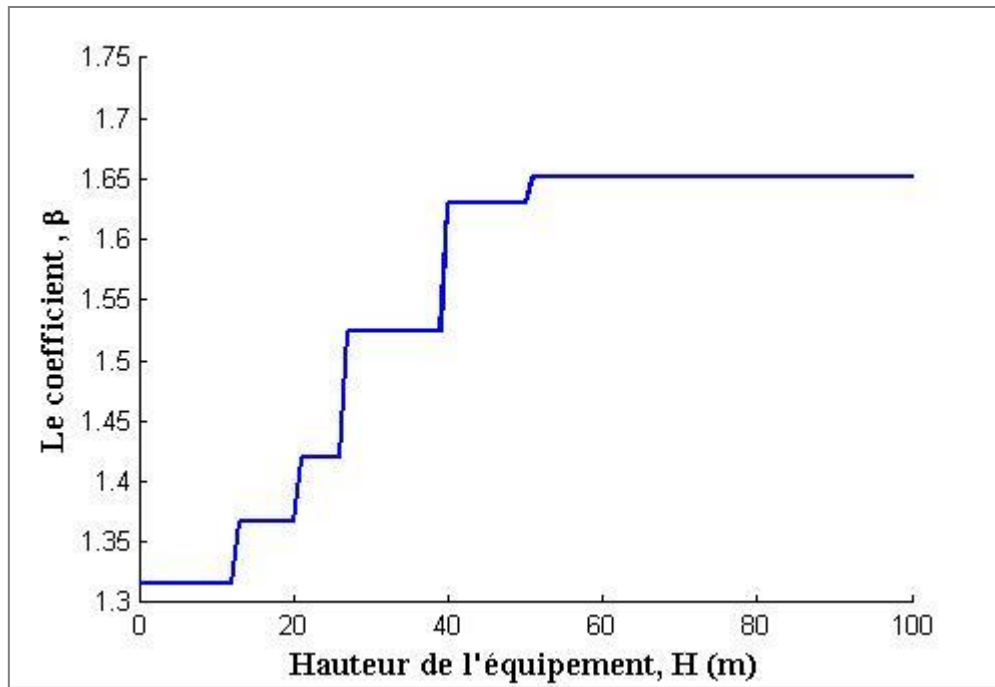
**Tableau IV.6 :** Quelques valeur de ( $P_v$ ,  $M_v$ ,  $\sigma_{\max}$ ,  $e_{ab}$ ,  $\sigma_{\min}$ ,  $D_{\text{boulons}}$  et boulons d'ancrage) en fonction de l'hauteur

H	$P_v$ (N)	$M_v$ (N.m)	$\sigma_{\max}$ (N/m <sup>2</sup> )	$e_{ab}$ (mm)	$\sigma_{\min}$ (N/m <sup>2</sup> )	$D_b$ (mm)	$n_{\text{boulon}}$
0	0	0	0	2	0	0	0
20	$3.8034 \cdot 10^4$	$3.8034 \cdot 10^5$	$1.9484 \cdot 10^5$	46	$4.2118 \cdot 10^4$	0	0
40	$1.0917 \cdot 10^5$	$2.1834 \cdot 10^6$	$4.8946 \cdot 10^5$	72	$-2.5249 \cdot 10^5$	42	6
60	$1.7939 \cdot 10^5$	$5.3817 \cdot 10^6$	$1.0120 \cdot 10^6$	103	$-7.7509 \cdot 10^5$	48	8
80	$2.4522 \cdot 10^5$	$9.8088 \cdot 10^6$	$1.7354 \cdot 10^6$	134	$-1.4989 \cdot 10^6$	54	10
100	$3.0597 \cdot 10^5$	$1.5298 \cdot 10^7$	$2.6323 \cdot 10^6$	165	$-2.3954 \cdot 10^6$	56	12



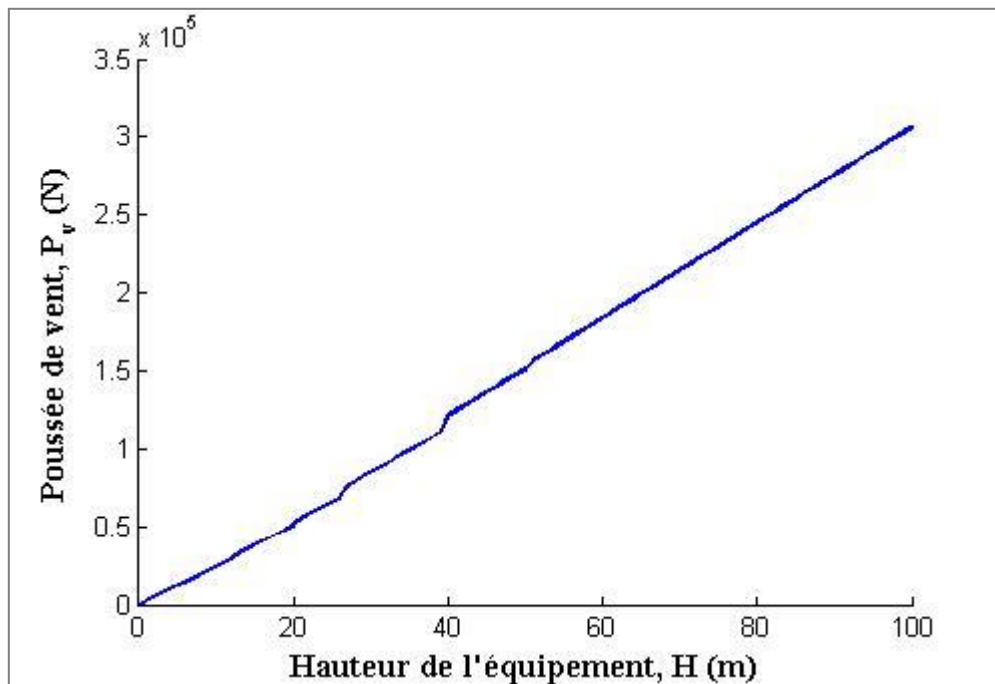
**Figure IV.5 :** La période des oscillations T en fonction de hauteur de l'équipement

La figure (IV.5) montre période des oscillations T en fonction de hauteur de l'équipement. La période T augmente d'une façon exponentielle en fonction de la hauteur de l'équipement statique.

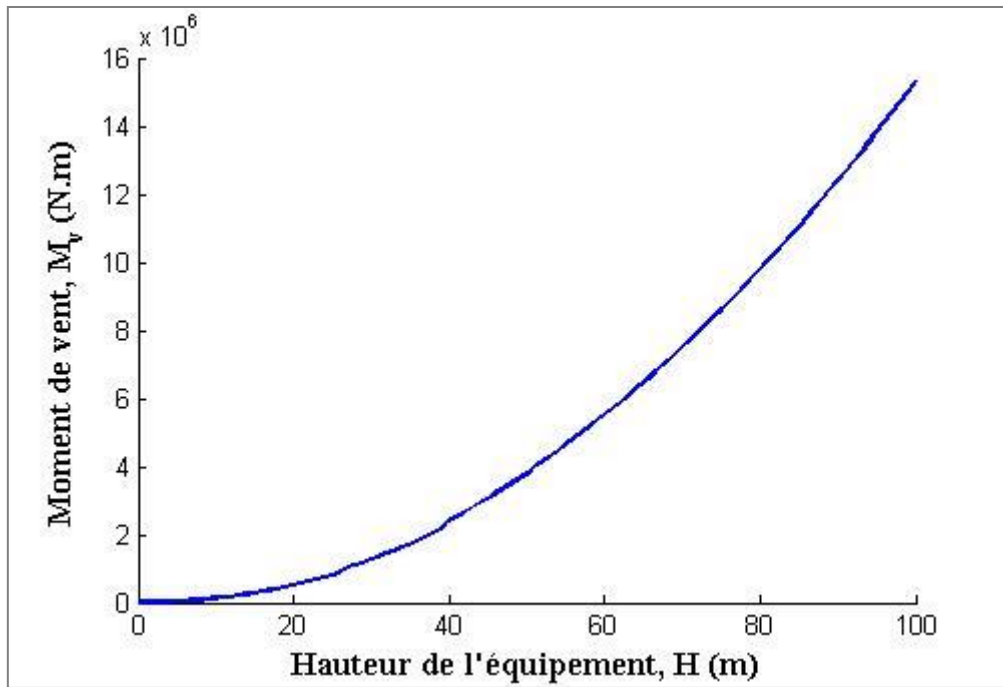


**Figure IV.6 :** le coefficient  $\beta$  en fonction de hauteur de l'équipement

La figure (IV.6) montre le coefficient d'augmentation de la poussée spécifique en fonction de la hauteur de l'appareil statique. Les fluctuations de ce coefficient, qui tient compte de l'action dynamique des coups de vent sur l'appareil, sont dues aux pulsations de la poussée de vent et aux oscillations propres de l'appareil

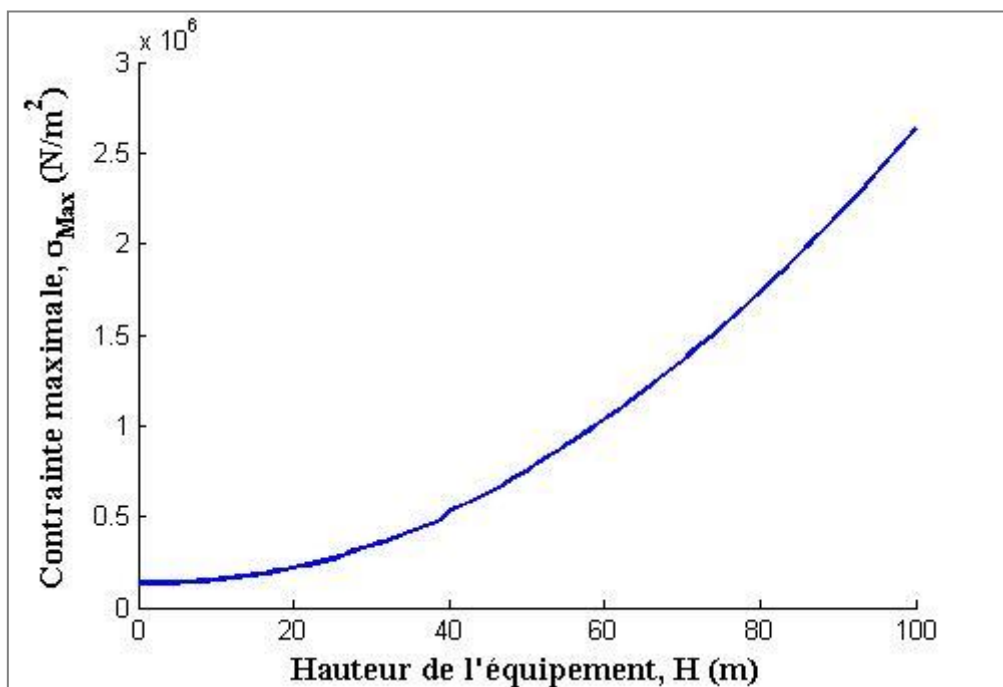


**Figure IV.7 :** La poussée de vent en fonction de hauteur de l'équipement



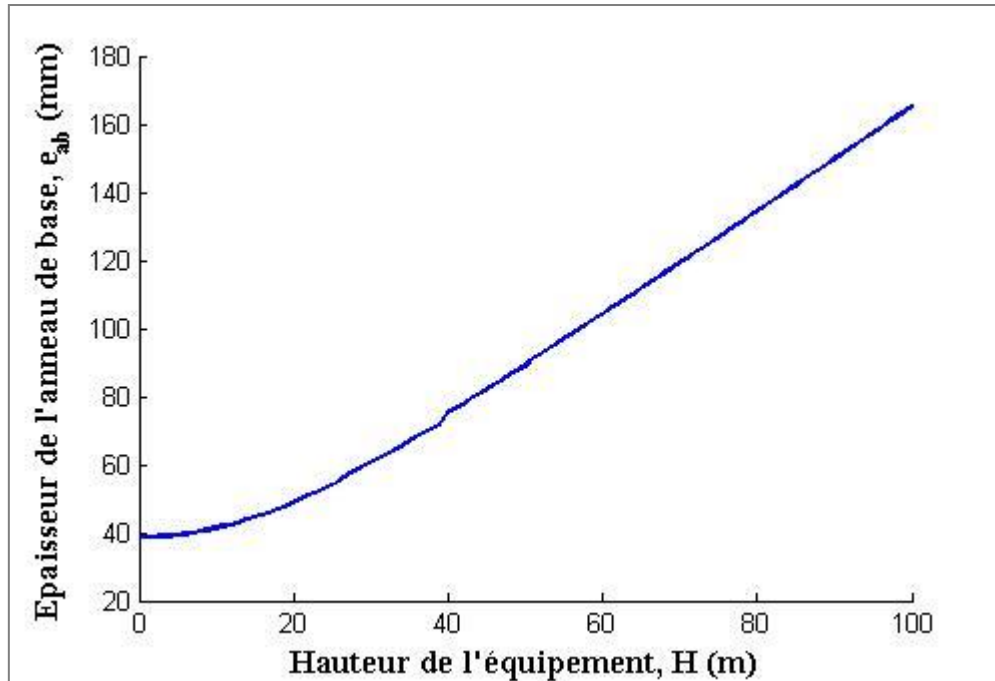
**Figure IV.8 :** Le moment de vent en fonction de hauteur de l'équipement

Les figures (IV.7) et (IV.8) montrent que la poussée et le moment de vent augmentent avec l'augmentation de la hauteur de l'appareil. Nous notons que la pente de la courbe du moment est supérieure de celle de la poussée.



**Figure IV.9 :** La contrainte maximale de flexion en fonction de hauteur de l'équipement

La contrainte maximale de flexion (figure IV.9) prend exactement la même allure de celle de moment de vent, ce qui explique l'équation (IV.11)



**Figure IV.10:** L'épaisseur minimale fonction de la hauteur de l'équipement

L'épaisseur de l'équipement peut être variée de 2 à 165 mm (figure IV.10), si on tient compte de la surépaisseur de corrosion. Cette variation est proportionnelle à la hauteur de l'équipement.

### Conclusion

L'installation des équipements pétroliers statiques dépasse largement le cadre de l'assemblage simple et classique. Quel que soit le volume de travaux à réaliser, le montage des équipements pétroliers statiques comporte plusieurs difficultés, qui sont évidemment amplifiées par l'effet de taille et la nature des techniques à mettre en œuvre. Ces équipements comportent toujours un volume non négligeable de travaux à réaliser.

Les opérations de levage et de mise en place des équipements statiques sont la véritable charnière de chantier, malheureusement, des erreurs et omissions peuvent être produites et être la cause des dégâts plus ou moins graves. Ces dégâts ont principalement pour origine :

- les erreurs matérielles au niveau des études, de la fabrication ou du montage.
- les causes accidentelles comme les charges exceptionnelles.
- l'ignorance au niveau du projet, de l'exécution, du montage et de l'utilisation.
- les erreurs de conception et d'étude.
- erreurs d'exécution, erreurs au montage.
- facteurs externes en particulier le vent.

Ces erreurs peuvent être réduites par le contrôle qualité qui doit viser, la garantie d'exécution des installations, suivant les règles de l'art et leur conformité avec les plans et les documents. L'organisation de ce contrôle et la mise en place des moyens correspondants doivent être précoces et opérationnelles dès le début du chantier.

## Référence Bibliographie

---

- [1] Règles de construction parasismique. Règles applicables aux bâtiments -PS 92 Norme NF P 06-013, Editions EYROLLES, 1996
- [2] Appareils de levage, Généralités par Claude PELLETIER, Ancien responsable des études techniques chez PPM, France.
- [3] Appareils de levage motorisés légers et moyens, par Henri-Pierre NAUD
- [4] Équipements de préhension de charge par Michel ARCHER et al. , Président-directeur
- [5] Report on Foundations for Static Equipment, American Concrete Institute, Reported by ACI Committee 351 general de la society SAPEM, France.
- [6] Réalisation des usines et ateliers, Montage des installations, par Jean-Pierre BLANC, Directeur Travaux à la Compagnie Générale de Bâtiment et de Construction, France.
- [7] Constructions métalliques Pathologie des structures métalliques par Jacques MAYÈRE Ingénieur INSA, Responsable de l'activité Charpentes métalliques et Bois du Bureau Veritas, France.
- [8] Cours de Mr. ZAMMOUR. UMBB, Boumerdes.

## عنوان المذكرة : تركيب المعدات الساكنة

**ملخص :** الغرض من هذه الدراسة هو حساب مقاومة الأجهزة الأسطوانية الرأسية لحمل الرياح وتبيين أهمية دراسة الأرصاد الجوية لموقع التثبيت. فالأخطاء المتعلقة بأعمال التركيب (في ورشة العمل ، أثناء التجميع ...) يمكن تقليلها عن طريق مراقبة الجودة وضمان تنفيذ التركيبات وفقاً للقواعد الفنية ومدى مطابقتها للخطط والمستندات. يجب أن يكون تنظيم عنصر التحكم هذا وإعداد الوسائل المناظرة لهما مبكراً وتشغيلاً من بداية المشروع ، أما نهاية المشروع فهي إما نهاية التجميع الميكانيكي ، أو نهاية الاختبارات الأولية عند بدء التشغيل

**كلمات مفتاحية:** الأجهزة الأسطوانية ، أعمال التركيب ، التجميع الميكانيكي

---

### Memory title : Installation of static equipment

**Abstract :** The purpose of this study is to calculate the resistance of vertical cylindrical devices to wind load, which shows the importance of the meteorological study of the installation site. The errors related to the installation work (in the workshop, during assembly...). These errors can be reduced by quality control, ensuring that the installations are carried out according to the best practices and in accordance with the plans and documents. The organisation of this control and the implementation of the corresponding means must be early and operational from the beginning of the construction site, at the end of the construction site, either the end of the mechanical assembly or the end of the tests preliminary to commissioning.

**Key words:** vertical cylindrical, installation work, the mechanical assembly

---

### Titre du mémoire : Installation des Equipements Statiques

**Résumé :** Le but de cette étude est Calculer de résistance des appareils cylindriques verticaux à la charge de vent qui montre l'importance de l'étude météorologique de site d'installation. les erreurs liée aux travaux d'installation (a l'atelier, au cours de montage...). Ces erreurs peuvent êtres réduites par le contrôle qualité , la garantie d'exécution des installations, suivant les règles de l'art et leur conformité avec les plans et les documents. L'organisation de ce contrôle et la mise en place des moyens correspondants doivent être précoces et opérationnelles dès le début du chantier. La fin du chantier est soit la fin du montage mécanique, soit la fin des essais préliminaires à la mise en route.

**Mots clés :** des appareils cylindriques, travaux d'installation, montage mécanique